



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Márcia Alves de Assis Lima

CAMPINA GRANDE – PB

2008

Márcia Alves de Assis Lima

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de Estágio apresentado ao curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências legais, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. José Afonso de Macedo (Dr)

CAMPINA GRANDE – PB

2008



Biblioteca Setorial do CDSA. Julho de 2021.

Sumé - PB

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL - UAEC

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
REALIZADO
NA MAIA MELO ENGENHARIA

Prof. José Afonso de Macedo (Dr)

Orientador

Márcia Alves de Assis Lima

Aluna de Graduação em Engenharia Civil

CAMPINA GRANDE – PB

2008

AGRADECIMENTOS

Ao mesmo tempo em que é o fim de uma etapa, a realização deste trabalho é apenas um passo dentre muitos já dados e muitos que virão. É a construção de uma base de conhecimentos que serão utilizados durante toda minha carreira profissional.

Apesar de tanto esforço pessoal empenhado na realização deste trabalho, não se trata de uma conquista individual. Foi através dos conhecimentos acadêmicos, conversas com colegas, professores e profissionais da área que consegui alcançar meus objetivos. Sendo assim, agradeço primeiramente a **Deus** por me dar à vida e guiar meus passos durante o curso de Engenharia Civil.

Aos meus **pais, irmãos e familiares** pelo incentivo, apoio, paciência e compreensão.

Ao meu marido **Daniel**, amor que vive em meu coração, pelo constante apoio, incentivo e paciência.

Aos meus sobrinhos **Ana Luisa, Beatriz, Lucas e Pedro**, por alegrar a minha vida com a sua presença.

Ao professor Dr. **José Afonso de Macedo** por me orientar neste trabalho e pelos conhecimentos teóricos e práticos ensinados.

A **Maia Melo Engenharia** pelos conhecimentos práticos adquiridos ao longo do estágio.

Aos **professores e funcionários** da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, que contribuíram com o desempenho de seus papéis durante todos estes anos.

A todos os colegas de curso que contribuíram de forma direta e indireta para a minha formação profissional.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional. Meu muito obrigada!

MEU DEUS

Obrigado por tudo que me ensinastes, às vezes errando, outras acertando. Sei que pusestes obstáculos, para que tentasse supera-los em minha vida. Tirastes pessoas que amava, porém me destes outras que aprendi a amar.

Peço-lhe desculpas pelas inúmeras coisas que possa vir a tê-lo decepcionado, causando tristeza em meu coração por tê-las feito. Agradeço a minha vida a Ti Senhor, e a todos que amo e colocastes nela.

Meu Deus tudo o que preciso em se tratando de vida, e muitas vezes sei que não as valorizo, mas perdoe-me por tais atitudes, e dai-me saúde para que eu possa ajudar a todos que me cercam e contribuir com um mundo melhor e mais justo.

(autor desconhecido)

LISTAS DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 01 – Cargas no Pavimento..... | 15 |
| Figura 02 – Seção Transversal Típica de Pavimento Flexível..... | 16 |
| Figura 03 – Seção Transversal Típica de Pavimento Rígido..... | 16 |
| Figura 04 – Tensões no pavimento (MEDINA, 1997)..... | 17 |
| Figura 05 – Exemplos de Eixos Simples (a) e Tandem duplo (b)..... | 21 |
| Figura 06 – Tipos de Veículos e Carga Máxima Legal (NEVES, 2002)..... | 22 |
| Figura 07 – Eixo Padrão Rodoviário..... | 24 |
| Figura 08 – Fatores de Equivalência de Operações..... | 26 |
| Figura 09 – Espessura Total do Pavimento..... | 31 |
| Figura 10 – Simbologia Utilizada..... | 32 |
| Figura 11 – Trecho executado em solo-cimento..... | 33 |
| Figura 12 – Pedreira em atividade produzindo materiais para execução de base de brita graduada..... | 36 |
| Figura 13 – Preparação e Execução de Trecho em Solo-Brita..... | 36 |
| Figura 14 – Execução de Trecho em Macadame Hidráulico..... | 37 |
| Figura 15 – Esquema de Espalhamento de Material na Pista..... | 39 |
| Figura 16 – Esquema de Espalhamento de Pilhas..... | 40 |
| Figura 17 – Curvas Granulométricas Típicas..... | 56 |
| Figura 18 – Exemplo de Caminhão Espargidor..... | 61 |
| Figura 19 – Pintura de Ligação em Restauração..... | 62 |
| Figura 20 – Espalhamento do Material..... | 73 |
| Figura 21 – Espalhamento do Agregado..... | 74 |
| Figura 22 – Compactação..... | 75 |
| Figura 23 – Tipos de Utilização do Concreto Asfáltico..... | 86 |
| Figura 24 – Esquema geral de Funcionamento de uma Usina Contínua (Volumétrica)..... | 90 |
| Figura 25 – Acabadora em Funcionamento..... | 91 |
| Figura 26 – Esquema de distribuição de pressão dos rolos pneumáticos..... | 92 |
| Figura 27 – Esquema de Recobrimento de Compactação de Rolos Pneumáticos..... | 93 |
| Figura 28 – Boletim de Sondagem (DNER, 1996)..... | 107 |

| | |
|--|-----|
| Figura 29 – Análise Estatística dos Resultados (DNER, 1996)..... | 110 |
| Figura 30 – Exemplo de Perfil Longitudinal (DNER, 1996)..... | 110 |
| Figura 31 – Esquema de Locação de Jazida..... | 112 |
| Figura 32 – Análise Estatística dos Resultados..... | 116 |
| Figura 33 – Planta de Situação das Ocorrências..... | 116 |
| Figura 34 – Perfis de Sondagem Típico..... | 117 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| APRESENTAÇÃO..... | 12 |
| INTRODUÇÃO..... | 13 |
| CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 14 |
| 1.1. Pavimento Rodoviário..... | 14 |
| 1.1.1. Funções do Pavimento..... | 14 |
| 1.1.2. Aspectos Funcionais do Pavimento..... | 14 |
| 1.1.3. Classificação dos Pavimentos..... | 15 |
| 1.1.3.1. Pavimentos Flexíveis..... | 15 |
| 1.1.3.2. Pavimentos Rígidos..... | 16 |
| 1.1.3.3. Pavimentos Semi-Rígidos (Semi-Flexíveis)..... | 17 |
| 1.1.4. Nomenclatura da Seção Transversal..... | 18 |
| 1.1.4.1. Subleito..... | 18 |
| 1.1.4.2. Leito..... | 18 |
| 1.1.4.3. Regularização do Subleito (Nivelamento)..... | 18 |
| 1.1.4.4. Reforço do Subleito..... | 18 |
| 1.1.4.5. Sub-base..... | 19 |
| 1.1.4.6. Base..... | 19 |
| 1.1.4.7. Revestimento..... | 19 |
| 1.1.4.8. Acostamento..... | 19 |
| 1.2. Projeto de Pavimentação..... | 20 |
| 1.2.1. As Cargas Rodoviárias..... | 20 |
| 1.2.2. Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis (Método do DNIT)..... | 26 |
| 1.3. Bases e Sub-Bases Flexíveis..... | 32 |
| 1.3.1. Terminologia das Bases..... | 32 |
| 1.3.2. Construção das Camadas do Pavimento..... | 38 |
| 1.3.2.1. Operações Preliminares..... | 38 |
| 1.3.2.2. Operação de Construção de Sub-Bases e Bases..... | 38 |
| 1.4. Estabilização dos Solos para Fins de Pavimentação..... | 44 |
| 1.4.1. Conceito de Estabilização para Rodovias e Aeroportos..... | 44 |

| | |
|---|----|
| 1.4.2. Objetivo..... | 44 |
| 1.4.3. Importância..... | 44 |
| 1.4.4. Estudos e Análises..... | 44 |
| 1.4.5. Métodos de Estabilização..... | 44 |
| 1.4.6. Estabilização Solo-Cimento..... | 44 |
| 1.4.6.1. Execução na Pista..... | 46 |
| 1.4.7. Estabilização Solo-Cal..... | 47 |
| 1.4.7.1. A Mistura Solo-Cal..... | 47 |
| 1.4.7.2. Tipos de Estabilização com Cal..... | 48 |
| 1.4.8. Estabilização Solo-Betume..... | 48 |
| 1.4.8.1. Tipos de Misturas..... | 48 |
| 1.4.8.2. Principais Funções do Betume..... | 48 |
| 1.4.8.3. Teor de Betume..... | 48 |
| 1.4.8.4. Métodos de Dosagem..... | 49 |
| 1.4.9 Estabilização Granulométrica..... | 49 |
| 1.4.9.1. Métodos de Misturas..... | 49 |
| 1.5. Agregados para Pavimentação..... | 50 |
| 1.5.1. Propriedades Físicas dos Agregados..... | 51 |
| 1.5.1.1. Análise Granulométrica..... | 52 |
| 1.6. Materiais Asfálticos..... | 56 |
| 1.6.1. Definições..... | 56 |
| 1.6.2. Classificação quanto à Aplicação..... | 57 |
| 1.6.3. Classificação quanto à Origem..... | 57 |
| 1.6.4. Asfaltos para Pavimentação..... | 58 |
| 1.6.4.1 Cimento Asfáltico do Petróleo (CAP)..... | 58 |
| 1.6.4.2. Asfaltos Diluídos..... | 60 |
| 1.6.4.3. Emulsões Asfálticas..... | 61 |
| 1.6.4.4. Asfaltos Modificados (Asfaltos Polímeros)..... | 63 |
| 1.6.5. Asfaltos Industriais..... | 63 |
| 1.6.6. Principais Funções do Asfalto na Pavimentação..... | 64 |
| 1.6.7. Serviços de Imprimação / Pintura de Ligação..... | 64 |
| 1.6.7.1. Imprimação..... | 64 |

| | |
|--|----|
| 1.6.7.2. Pintura de Ligação..... | 66 |
| 1.7. Revestimentos..... | 67 |
| 1.7.1. Principais Funções..... | 67 |
| 1.7.2. Terminologia dos Revestimentos..... | 68 |
| 1.7.2.1. Concreto de Cimento..... | 68 |
| 1.7.2.2. Em Solo Estabilizado..... | 69 |
| 1.7.2.3. Revestimento de Alvenaria Poliédrica / Paralelepípedos..... | 69 |
| 1.7.2.4. Blocos de Concreto Pré-Moldados e Articulados..... | 69 |
| 1.7.2.5. Macadame Betuminoso..... | 69 |
| 1.7.2.6. Tratamentos Superficiais..... | 69 |
| 1.7.2.7. Concreto Asfáltico (CBUQ)..... | 70 |
| 1.7.2.8. Pré-Misturado à Quente (PMQ)..... | 70 |
| 1.7.2.9. Areia Asfalto à Quente..... | 70 |
| 1.7.2.10. Camada Porosa de Atrito (CPA)..... | 70 |
| 1.7.2.11. Stone Matrix Asphalt (SMA)..... | 71 |
| 1.7.2.12. Pré-Misturado a Frio..... | 71 |
| 1.7.2.13. Areia Asfalto a Frio..... | 71 |
| 1.7.2.14. Lama Asfáltica (não é Considerada Revestimento)..... | 72 |
| 1.7.2.15. Misturas Graduadas..... | 72 |
| 1.7.2.16. Areia Asfalto no Leito..... | 72 |
| 1.7.3. Revestimentos Flexíveis por Penetração..... | 72 |
| 1.7.3.1. Tratamento Superficial Simples..... | 72 |
| 1.7.3.2. Tratamento Superficial Duplo..... | 76 |
| 1.7.3.3. Tratamento Superficial Triplo..... | 76 |
| 1.7.3.4. Macadame Betuminoso por Penetração Direta..... | 77 |
| 1.7.4. Revestimentos Flexíveis por Mistura..... | 78 |
| 1.7.4.1. Pré-Misturado a Quente (PMQ)..... | 79 |
| 1.7.4.2. Argamassas Asfálticas..... | 79 |
| 1.7.4.3. Pré-Misturado a Frio (PMF)..... | 80 |
| 1.7.4.4. Areia-Asfalto a Frio..... | 82 |
| 1.7.4.5. Lama-Asfáltica (não é Revestimento)..... | 82 |
| 1.7.4.6. Misturas Graduadas..... | 83 |

| | |
|--|-----------|
| 1.7.5. Revestimentos Flexíveis em Solo Estabilizado..... | 83 |
| 1.7.6. Revestimentos de Alvenaria Poliédrica / Paralelepípedos..... | 83 |
| 1.8. Concreto Asfáltico..... | 86 |
| 1.8.1. Materiais Constituintes do Concreto Asfáltico..... | 86 |
| 1.8.2. Curvas de Projeto de Misturas de Concreto Asfáltico pelo Método Marshall..... | 89 |
| CAPÍTULO 2 - ELABORAÇÃO DE PROJETO DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS..... | 99 |
| 2.1 Elaboração do Projeto..... | 99 |
| 2.1.1. Fase Preliminar..... | 99 |
| 2.1.2. Estudos de Tráfego..... | 100 |
| 2.1.3. Estudos Geológicos..... | 100 |
| 2.1.4. Estudos Hidrológicos..... | 100 |
| 2.2. Fase de Anteprojeto..... | 100 |
| 2.3. Fase de Projeto..... | 101 |
| 2.3.1. Estudos Topográficos..... | 102 |
| 2.3.2. Projeto de Pavimentação..... | 102 |
| 2.4. Estudos Geotécnicos..... | 103 |
| 2.4.1. Reconhecimento do Subleito..... | 104 |
| 2.4.2. Estudo das Ocorrências de Materiais para Pavimentação..... | 111 |
| CONCLUSÕES..... | 118 |
| REFERÊNCIAS..... | 119 |

APRESENTAÇÃO

O estágio supervisionado tem por objetivo a integração do aluno ao mercado de trabalho de forma a possibilitar na prática a vivência da teoria adquirida ao longo de todo o curso de graduação, e contribuindo, assim, com o desenvolvimento de raciocínios práticos, lógicos e realistas a partir dos desafios enfrentados no dia-a-dia de uma empresa.

O presente trabalho constitui o relatório do estágio supervisionado realizado por Márcia Alves de Assis Lima, aluna do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. O estágio foi realizado no período de 02 Janeiro a 07 de Fevereiro de 2008 na empresa Maia Melo Engenharia LTDA com sede na cidade de Recife – PE.

A Maia Melo é uma empresa certificada ISO 9001 e 14001 que atua a 25 anos no ramo de engenharia consultiva, destacadamente, nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, com incursões no Rio de Janeiro, Distrito Federal e, mais recentemente, no exterior. Do Portfólio da empresa fazem parte projetos Rodo-Ferrovíários, de Planejamentos Urbano e de Transporte, de Racionalização Administrativa, de Gerenciamento, Supervisão e Fiscalização de Obras de Construção/Duplicação de Rodovias e Ferrovias, entre outros.

O estágio foi supervisionado, por parte da universidade, pelo professor Dr. José Afonso de Macedo e por parte da empresa pelo Engenheiro Civil Joel Ventura. As atividades realizadas, que serão descritas ao longo deste relatório, abrangeram principalmente:

- Projeto de Sinalização – conferência de quadros e desenhos;
- Estudos Geotécnicos – adequação dos ensaios de subleito, jazida e empréstimos como também os desenhos;
- Montagem e conferência de volumes – volume 1 (relatório de projeto e documento para concorrência), volume 2 (projeto de execução) e volume 3 (memória justificativa).

INTRODUÇÃO

O pavimento, se comparado com outras estruturas usuais da engenharia civil, tem vida curta. Geralmente deveria ser construído para suportar as cargas de tráfego ao longo de 10, 20 ou no máximo 50 anos. Por esse motivo a compreensão dos processos de deterioração e destruição do pavimento é de vital importância. Do ponto de vista funcional, o pavimento tem a tarefa de suportar o tráfego em condições de velocidade, segurança, conforto e economia. (SÓRIA, 1997).

A relevância do assunto é evidente, principalmente se forem considerados os frequentes debates e críticas pela imprensa e pela sociedade em geral, que mostram o descontentamento e o desconhecimento técnico no assunto. A importância do assunto está clara quando se observa a quantidade de buracos espalhados por todas as vias e, conseqüentemente, nos riscos de acidentes e os prejuízos com os veículos que aumentam bastante, gerando uma desordem cada vez maior no trânsito.

Em função do aumento do volume de tráfego e, principalmente, da evolução tecnológica que permite que caminhões trafeguem com maiores cargas por eixo, a deformação permanente, as trincas e, conseqüentemente, os buracos acabam sendo inevitáveis. Para evitar problemas deve ser dada atenção especial nas características dos materiais durante o estudo geotécnico, evitando o desgaste precoce, bem como respeitar as normas de sinalização diminuindo, assim o risco de acidentes.

CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. Pavimento Rodoviário

Em obras como construções de rodovias, aeroportos, ruas, etc, a superestrutura é constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assente sobre o terreno de fundação, considerado como semi-espaço infinito e designado como subleito (SENÇO, 1997).

Segundo SANTANA (1993), Pavimento é uma estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplenagem com a função de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, ou seja, com a máxima qualidade e o menor custo possível.

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

1.1.1. Funções do Pavimento

Segundo a NBR-7207/82 temos que o pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem 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.

1.1.2. Aspectos Funcionais do Pavimento

Quando o pavimento é solicitado por uma carga de veículo Q , que se desloca com uma velocidade V , recebe uma tensão vertical s_o (de compressão) e uma tensão horizontal t_o (de cisalhamento), conforme Figura 01 (SANTANA, 1993).

As varias camadas componentes da estrutura do pavimento também terão a função de diluir a tensão vertical aplicada na superfície, de tal forma que o subleito receba uma parcela bem menor desta tensão superficial (p_1).

A tensão horizontal aplicada na superfície exige que esta tenha uma coesão mínima.

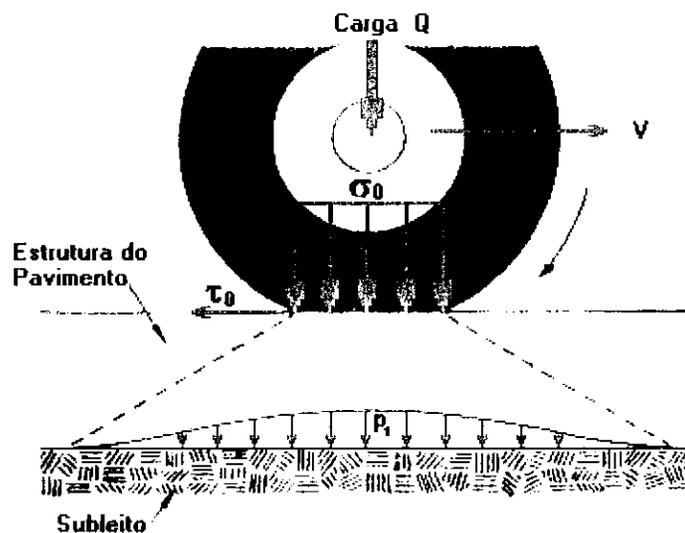


Figura 01 - Cargas no Pavimento

1.1.3. Classificação dos Pavimentos

1.1.3.1. Pavimentos Flexíveis

São aqueles constituídos por camadas que não trabalham à tração. Normalmente são constituídos de revestimento betuminoso delgado 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.

No dimensionamento tradicional são consideradas as características geotécnicas dos materiais a serem usados, e a definição da espessura das várias camadas depende do valor do CBR e do mínimo de solitação de um eixo padrão (8,2 ton.).

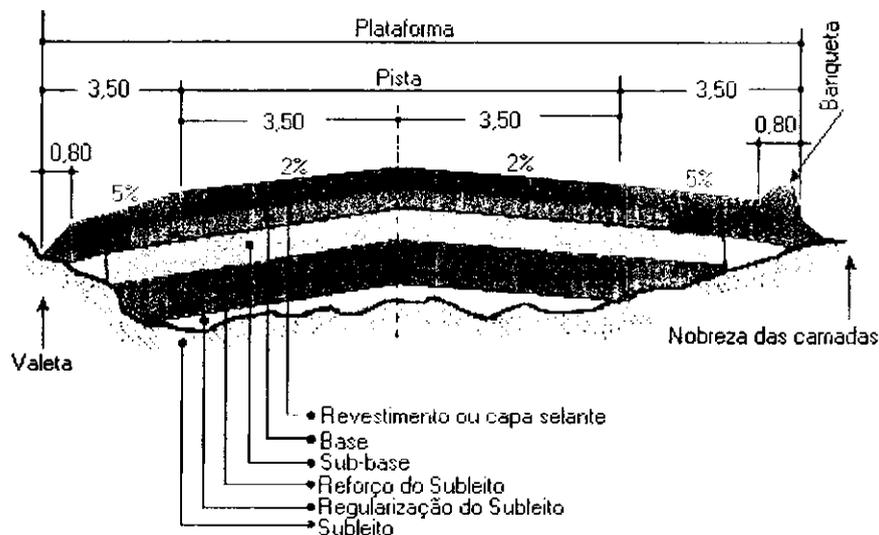


Figura 02 - Seção Transversal Típica de Pavimento Flexível

1.1.3.2. Pavimentos Rígidos

São constituídos por camadas que trabalham essencialmente à tração. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto de cimento Portland, as quais são apoiadas em uma camada de transição, a sub-base.

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. O dimensionamento do pavimento flexível é comandado pela resistência do subleito e do pavimento rígido pela resistência do próprio pavimento.

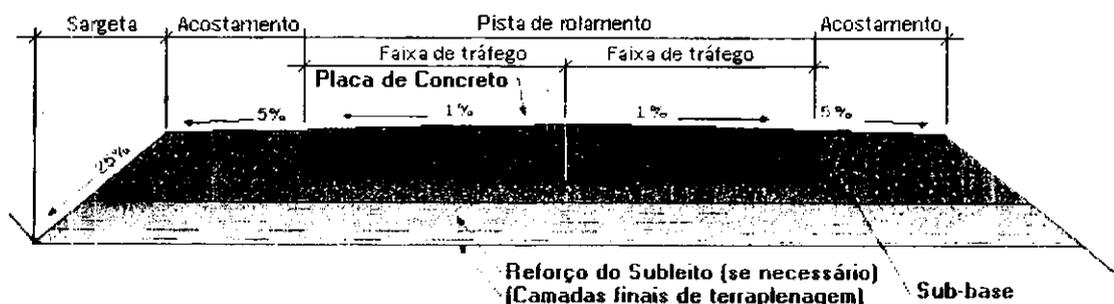


Figura 03 - Seção Transversal Típica de Pavimento Rígido

1.1.3.3. Pavimentos Semi-Rígidos (Semi-Flexíveis)

Situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis. É o caso das misturas solo-cimento, solo-cal, solo-betume dentre outras, que apresentam razoável resistência à tração.

Para (MEDINA, 1997), consideram-se tradicionalmente duas categorias de pavimentos:

- *Pavimento Flexível* - constituído por um revestimento betuminoso sobre uma base granular ou de solo estabilizado granulometricamente;
- *Pavimento Rígido* - construído por placas de concreto assentes sobre o solo de fundação ou Sub-base intermediária.

Quando se tem uma base cimentada sob o revestimento betuminoso, o pavimento é dito semi-rígido. O pavimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto é considerado como pavimento composto.

Segundo MEDINA (1997), “A mecânica dos pavimentos estuda os pavimentos como sistemas em camadas e sujeitos a cargas dos veículos. Faz-se o cálculo de tensões, deformações e deslocamentos, conhecidos os parâmetros de deformabilidade, com a utilização de programas de computação. Verifica-se o número de aplicações de carga que leva o revestimento asfáltico ou a camada cimentada à ruptura por fadiga”.

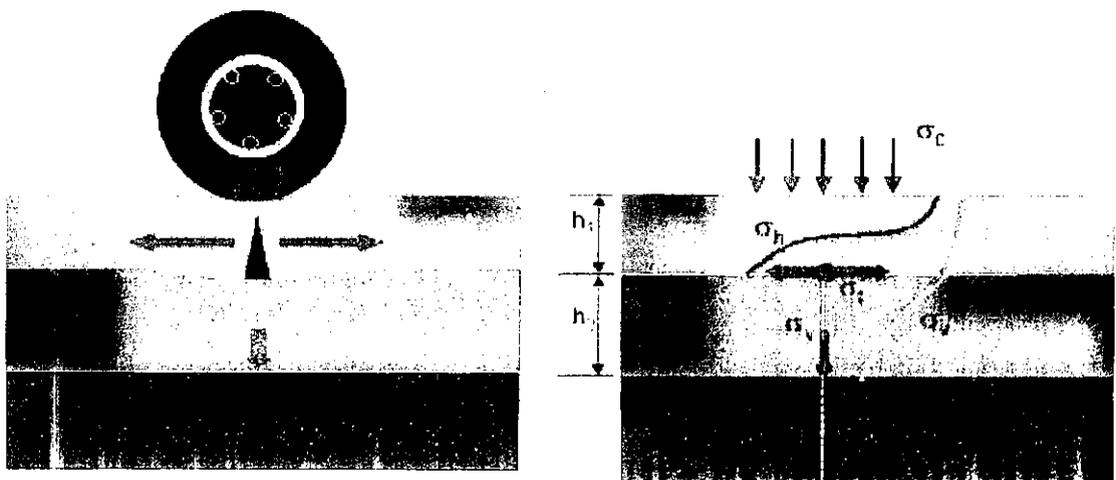


Figura 04 – Tensões no pavimento (MEDINA, 1997)

1.1.4. Nomenclatura da Seção Transversal

Esta nomenclatura refere-se às camadas a aos componentes de uma seção típica de pavimentos flexíveis e rígidos.

1.1.4.1. Subleito

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 (de 60 a 1,50 m de profundidade).

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

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

1.1.4.2. Leito

É a superfície do subleito (em área) obtida pela terraplenagem ou obra de arte e conformada ao greide e seção transversal.

1.1.4.3. Regularização do Subleito (Nivelamento)

É a operação destinada a conformar o leito, transversal e longitudinalmente. Poderá ou não existir, dependendo das condições do leito. Compreende cortes ou aterros até 20 cm de espessura.

1.1.4.4. Reforço do Subleito

É a camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente, de acordo com o dimensionamento do pavimento, fazendo parte integrante deste e que, por será executada sobre o subleito regularizado. Serve para melhorar a qualidade do subleito e regularizar a espessura da sub-base.

1.1.4.5. Sub-base

Camada complementar à base. Deve ser usada quando não é aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas. Pode ser usado para regularizar a espessura da base.

1.1.4.6. Base

Camada destinada a resistir e distribuir ao subleito, os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se construirá o revestimento.

1.1.4.7. Revestimento

É a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e destinada econômica e simultaneamente:

- Melhorar as condições do rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais que nele atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

1.1.4.8. Acostamento

Parte da plataforma contígua à pista de rolamentos é destinada ao estacionamento de veículos, ao trânsito em caso de emergência e ao suporte lateral do pavimento.

Nos pavimentos rígidos também são feitas as operações de regularização do subleito e reforço, quando necessário.

A camada de sub-base tem o objetivo de evitar o bombeamento dos solos do subleito. E a placa de concreto de cimento tem a função de servir ao mesmo tempo como base e revestimento.

1.2. Projeto de Pavimentação

Segundo o DNER um Projeto de Engenharia tem sua versão final intitulada Projeto Executivo e visa, além de permitir a perfeita execução da obra, possibilitar a sua visualização, o acompanhamento de sua elaboração, seu exame e sua aceitação e o acompanhamento da obra.

1.2.1 As Cargas Rodoviárias

As cargas dos veículos são transmitidas ao pavimento através das rodas dos pneumáticos. Para efeito de dimensionamento de pavimentos o tráfego de veículos comerciais (caminhões, ônibus) é de fundamental importância. No projeto geométrico são considerados o tráfego de veículos comerciais e o tráfego de veículos de passageiros (carro de passeio), constituindo assim o tráfego total.

a) **Os eixos** - As rodas dos pneumáticos (simples ou duplas) são acopladas aos eixos, que podem ser classificadas da seguinte forma:

Eixos Simples – é um conjunto de duas ou mais rodas, cujos centros estão em um plano transversal vertical ou podem ser incluídos entre dois planos transversais verticais, distantes de 100 cm, que se estendam por toda a largura do veículo. Pode-se ainda definir:

- Eixo Simples de Rodas Simples - com duas rodas, uma em cada extremidade (2 pneus);

- Eixos Simples de Rodas Duplas - com quatro rodas, sendo duas em cada extremidade (4 pneus).

Eixos Tandem - quando dois ou mais eixos consecutivos, cujos centros estão distantes de 100 cm a 240 cm e ligados a um dispositivo de suspensão que distribui a carga igualmente entre os eixos (balancin). O conjunto de eixos constitui um eixo tandem. Pode-se ainda definir:

- Eixo Tandem Duplo - com dois eixos, com duas rodas em cada extremidade de cada eixo (8 pneus). Nos fabricantes nacionais o espaçamento médio de 1,36 m;

- Eixo Tandem Triplo - com três eixos, com duas rodas em cada extremidade de cada eixo (12 pneus).

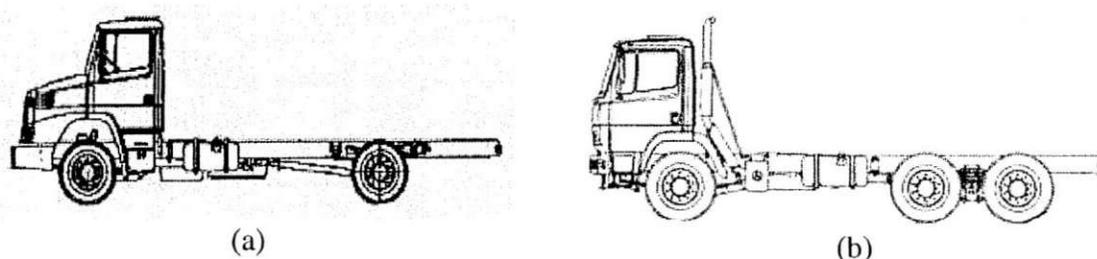


Figura 05 – Exemplos de Eixos Simples (a) e Tandem duplo (b)

b) Os veículos - No Brasil os veículos comerciais devem obedecer a certos limites e as cargas por eixo não podem ser superiores a determinados valores, segundo a legislação em vigor. Quem regulamenta estes limites para as cargas máximas legais é a chamada lei da balança.

Código de Trânsito Brasileiro através da Lei No 9.043 de 23/09/97 e da Resolução No 12 de 6/12/98 do CONTRAN regulamentou as seguintes cargas máximas legais no Brasil:

| Eixo | Carga Máxima | Com Tolerância de 7,5 % |
|-----------------------------------|--------------|-------------------------|
| | Legal | |
| Dianteiro simples de roda simples | 6 t | 6,45 t |
| Simples de roda simples | 10 t | 10,75 t |
| Tandem duplo | 17 t | 18,28 t |
| Tandem Triplo | 25,5 t | 27,41 t |
| Duplo de Tribus | 13,5 t | 14,51 t |

O dimensionamento do pavimento é feito com base na carga máxima legal.

Para o DNER, os veículos podem ser classificados em veículos leves e veículos de carga ou comerciais. Segundo NEVES (2002) os veículos são assim denominados:

- Veículos leves;
- Veículos de carga ou comerciais;
- Caminhões com semi-reboques (carretas);
- Caminhões com reboques (“Romeu e Julieta” ou “Treminhão”);
- Caminhões especiais;
- Outros - motocicletas, triciclos, bicicletas, carroças, etc.

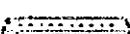
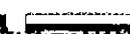
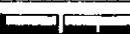
| CARGA LEGAL (DNER) | | | | | | | | | |
|---------------------|--|--|---|---|------|------|------|------|------|
| CLASSE / TIPO | | CONFIGURAÇÃO | TIPOS DE EIXOS | | | | Σ | | |
| | | | 1º | 2º | 3º | 4º | | | |
| VEÍCULOS LEVES | CARROS DE PASSEIO |  | | | | | | | |
| | UTILITÁRIOS (PICKUPS E PERCOES) |   | | | | | | | |
| ÔNIBUS | ÔNIBUS 2C |  | 4,0 | 7,5 | | | 11,5 | | |
| | TRIBUS |  | | | | | | | |
| VEÍCULOS COMERCIAIS | CAMINHÃO LEVE (800 e F4000) | 2C LEVE |  | 2,0 | 4,0 | | | 6,0 | |
| | | CAMINHÕES MÉDIOS E PESADOS | 2C |  | 8,0 | 10,0 | | | 18,0 |
| | | | 3C |  | 6,0 | 17,0 | | | 23,0 |
| | 4C | |  | 8,0 | 25,5 | | | 33,5 | |
| | CAMINHÕES COM SEMI-REBOQUE (CARRETAS) | 2S1 |  | 6,0 | 10,0 | 10,0 | | 26,0 | |
| | | 2S2 |  | 8,0 | 10,0 | 17,0 | | 35,0 | |
| | | 2S3 |  | 6,0 | 10,0 | 25,5 | | 41,5 | |
| | | 3S2 |  | 6,0 | 15,0 | 17,0 | | 38,0 | |
| | | 3S3 |  | 8,0 | 15,0 | 25,5 | | 48,5 | |
| | CAMINHÕES COM REBOQUE (ROMELE E JULIETA) | 2C2 |  | 8,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 38,0 | |
| | | 2C3 |  | 6,0 | 10,0 | 10,0 | 15,0 | 41,0 | |
| | | 3C2 |  | 6,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | 41,0 | |
| | | 3C3 |  | 8,0 | 15,0 | 10,0 | 15,0 | 48,0 | |
| | | "TREMINHÃO" | 3C4 |  | 6,0 | 17,0 | 17,0 | 17,0 | 57,0 |

Figura 06 – Tipos de Veículos e Carga Máxima Legal (NEVES, 2002)

c) Área de contato entre pneumático e pavimento - Quando os pneus são novos a área de contato é elíptica, tornando-se velhos a área toma o formato retangular. Pode ser expressa da seguinte forma:

$$A = \frac{P}{K \times p}$$

Onde: A - Área de contato.

P - Carga atuando sobre pneumático.

p - Pressão de enchimento do pneumático

k - Fator que leva em consideração a rigidez do pneu (1 a 1,3)

d) - O tráfego rodoviário - Para o dimensionamento do pavimento os dois primeiros são mais importantes.

Volume de tráfego - Número de veículos que passa em um ponto da rodovia, em determinado intervalo de tempo: hora, dia, mês, ano.

Volume médio diário (Vm ou VMD) - Número de veículos que circulam em uma estrada durante um ano, dividido pelo número de dias do ano.

Volume diário de tráfego

Capacidade de tráfego de uma faixa - Número máximo de veículos de passageiros que podem passar por hora na faixa de tráfego.

e) Crescimento do tráfego - O projeto de um pavimento é feito para um período de tempo, denominado período “P”, expresso em anos. No início do período “P” admite-se um volume inicial de veículos denominado “Vo”.

Durante o decorrer do período de utilização da rodovia o volume de veículos tenderá a aumentar, aparecendo daí as denominações de tráfego Atual, tráfego Desviado e tráfego Gerado. No final do período “P” o volume final de veículos é chamado de tráfego final, designado pelo termo “Vt”.

O crescimento do tráfego durante o período de utilização da rodovia poderá ser previsto através de projeções matemáticas, que são baseadas no volume de veículo inicial, período de projeto, taxa de crescimento anual, dentre outros. As duas formas de crescimento do tráfego mais utilizadas são as seguintes:

Crescimento em progressão aritmética ou crescimento linear

$$Vt = 365 \times P \times Vm \quad Vm = \frac{Vo(2 + P \times t)}{2} \times K$$

Onde: Vt - Volume total de tráfego para um período P

Vm - Volume médio diário

Vo - Volume médio diário no ano anterior ao período considerado

t - Taxa de crescimento anual

k - Fator que leva em consideração o tráfego gerado e desviado

Tráfego Gerado é o tráfego que surge pelo estímulo da pavimentação, restauração ou duplicação da Rodovia. Normalmente é gerado por empreendimentos novos (Indústrias, Minerações, etc) atraídos pelas boas condições de transporte.

Tráfego Desviado é o tráfego atraído de outras rodovias existentes, em função da pavimentação, restauração ou duplicação da Rodovia.

Crescimento em progressão geométrica ou crescimento exponencial

$$V_t = 365 \times V_0 \times \frac{(1+t)^P - 1}{t} \times K$$

f) **O conceito de eixo padrão rodoviário** - Como em uma rodovia trafegam vários tipos de veículos com variadas cargas em cada eixo foi necessário introduzir o conceito de Eixo Padrão Rodoviário. Este eixo é um eixo simples de rodas duplas com as seguintes características:

- Carga por Eixo (P): 18 Kips = 18.000 lb = 8.165 Kgf = 8,2 tf = 80 KN
- Carga por roda (P/4): 4,5 Kips = 4.500 lb = 2.041 Kgf = 2,04 tf = 20 KN
- Pressão de Enchimento dos Pneus (p): 80 lb/Pol² = 5,6 Kgf/cm²
- Pressão de Contato Pneu-Pavimento (q): 5,6 Kgf/cm²
- Raio da Área de Contato Pneu-Pavimento (r): 10,8 cm
- Afastamento entre Pneus por Roda (s): 32,4 cm

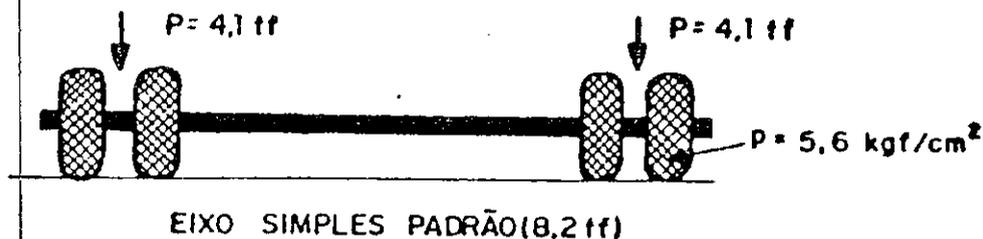


Figura 07 – Eixo Padrão Rodoviário

g) **Estudo do tráfego** - Existem dois parâmetros de interesse:

Número de eixos que solicitam o pavimento durante o período de projeto → "n"

$$n = Vt \times FE$$

Onde:

FE - Fator de Eixo: É o número que multiplicado pela quantidade de veículos dá o número de eixos. É calculado por amostragem representativa do tráfego em questão, ou seja:

$$FE = \frac{n_{amostra}}{Vt_{amostra}}$$

Número "N"

Representa o número de repetições de carga equivalente a um eixo de 8,2 ton tomado como padrão (Eixo Padrão Rodoviário). Este é o parâmetro de maior importância na maioria dos métodos e processos de dimensionamento de pavimentos.

$$N = n \times FC$$

Sendo FC (Fator de carga) o número que multiplicado pelo número de eixos dá o número equivalente de eixos padrão. É conseguido através de gráficos específicos e é função do valor da carga de eixo (simples, tandem duplo, tandem triplo). A Figura 15 dá os fatores de equivalência de operação entre eixos simples e "tandem", com diferentes cargas e o eixo simples padrão com carga de 8,2t (18.000 lbs). O valor a ser adotado em projeto é dado pela seguinte expressão:

$$FC = \frac{\sum P_j \times FC_j}{100}$$

Onde:

P_j - Porcentagem com que incidem cada categoria de veículos "j"

FC_j - Fator de carga para cada categoria de veículo "j"

Conclusão: $n = Vt \times FE$ (1) e $N = n \times FC$ (2). Substituindo (1) em (2) temos:

$$N = Vt \times FE \times FC \text{ e } N = 365 \times P \times Vm \times FE \times FC$$

Obs.: FE x FC, também é chamado de FV.

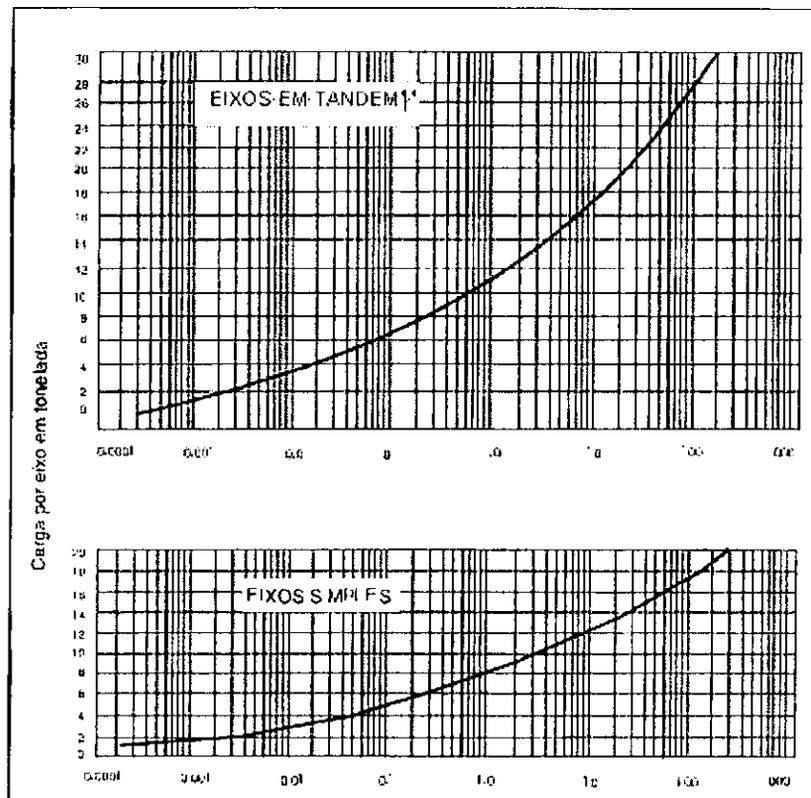


FIGURA 08 – FATORES DE EQUIVALÊNCIA DE OPERAÇÕES

1.2.2 Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis (Método do DNIT)

O método tem como base o trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", da autoria de W.J. Turnbull, C.R. Foster e R.G. Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHTO.

Relativamente aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural tomando por base os resultados obtidos na Pista Experimental da AASHTO, com modificações julgadas oportunas.

O subleito

A Capacidade de Suporte do subleito e dos materiais constituintes dos pavimentos é feita pelo CBR, adotando-se o método de ensaio preconizado pelo DNER, em corpos-de-prova indeformados ou moldados em laboratório para as condições de massa específica aparente e umidade especificada para o serviço.

O subleito e as diferentes camadas do pavimento devem ser compactados de acordo com os valores fixados nas "Especificações Gerais", em que, o grau de compactação deve ser inferior a 100%.

Os materiais do subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio C.B.R., menor ou igual a 2% e um C.B.R. $\geq 2\%$.

Classificação dos materiais empregados no pavimento

a) Materiais para reforço do subleito apresentam:

- C.B.R. maior que o do subleito;
- Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lb).

b) Materiais para sub-base, apresentam:

- C.B.R. $\geq 20\%$;
- I.G. = 0;
- Expansão $\leq 1\%$ (medida com sobrecarga de 10 lbs).

c) Materiais para base, apresentam:

- C.B.R. $\geq 80\%$;
- Expansão $\leq 0,5\%$ (medida com sobrecarga de 10 lbs);
- Limite de liquidez $\leq 25\%$;
- Índice de plasticidade $\leq 6\%$.

Se o limite de liquidez for superior a 25% e/ou índice de plasticidade seja superior a 6; o material pode ser empregado em base (satisfeitas as demais condições), desde que o equivalente de areia seja superior a 30.

Os materiais para base granular devem ser enquadrar numa das seguintes faixas granulométricas:

| PENEIRAS | % em peso passando | | | |
|----------|--------------------|-------|-------|--------|
| | A | B | C | D |
| 2" | 100 | 100 | -- | -- |
| 1" | -- | 75-90 | 100 | 100 |
| 3/8" | 30-65 | 40-75 | 50-85 | 60-100 |
| Nº 4 | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 |
| Nº 10 | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 |
| Nº 40 | 8-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 |
| Nº 200 | 2-8 | 5-15 | 5-15 | 10-25 |

A fração que passa na peneira nº 200 deve ser $\leq 2/3$ da fração que passa na peneira nº 40. A fração graúda deve apresentar um desgaste Los Angeles ≤ 50 . Pode ser aceito um valor de desgaste maior, desde que haja experiência no uso do material. Em casos especiais podem ser especificados outros ensaios representativos da durabilidade da fração graúda.

Para o caso de materiais lateríticos, as "Especificações Gerais" fixarão valores para expansão, índices de consistência, granulometria e durabilidade da fração graúda.

O tráfego

O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido.

Fator climático regional

Para levar em conta as variações de umidade dos materiais do pavimento durante as diversas estações do ano (o que se traduz em variações de capacidade de suporte dos materiais) o número equivalente de operações do eixo-padrão ou parâmetro de tráfego, N, deve ser multiplicado por um coeficiente (F.R.) que, na pista experimental da AASHTO, variou de 0,2 (baixos teores de umidade) a 5,0 (os materiais estão saturados). Estes coeficientes podem ser diferentes, em função da diferença de sensibilidade à variação do número N; E ainda, há o fator climático que afeta a espessura do pavimento (em vez do número N), e que seria, ao mesmo tempo, função desta espessura.

O coeficiente final a adotar é uma média ponderada dos diferentes coeficientes sazonais, levando-se em conta o espaço de tempo em que ocorrem.

É mais apropriada a adoção de um coeficiente, para projeto, um valor C.B.R compreendido entre o que se obtém antes e o que se obtém depois da embebição, isto é, um valor correspondente à umidade de equilíbrio. Tem-se adotado um FR = 1,0 face aos resultados de pesquisas desenvolvidas no IPR/DNER.

Coefficiente de equivalência estrutural

São os seguintes os coeficientes de equivalência estrutural para os diferentes materiais constitutivos do pavimento:

| Componentes do pavimento | Coefficiente 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 | 1,00 |
| - Solo cimento com resistência à compressão a 7 dias, superior a 45 kg/cm ² | 1,70 |
| - Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 45 kg/cm ² e 28 kg/cm ² | 1,40 |
| - Idem, com resistência à compressão a 7 dias, entre 28 kg/cm ² e 21 kg/cm ² | 1,20 |

Os coeficientes estruturais são designados, genericamente por:

- Revestimento: KR
- Base: KB
- Sub-base: KS
- Reforço: KRef

Espessura mínima de revestimento

A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos betuminosos é um dos pontos ainda em aberto na engenharia rodoviária, quer se trate de proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, quer se trate de evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. As espessuras recomendadas visam, especialmente, as bases de comportamento puramente granular e são definidas pelas observações efetuadas.

| N | Espessura Mínima de Revestimento Betuminoso |
|-------------------------------|---|
| $N \leq 10^6$ | 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 |

Dimensionamento do pavimento

O gráfico da Figura 16 dá a espessura total do pavimento, em função de N e de I.S. ou C.B.R.; a espessura fornecida por este gráfico é em termos de material com K = 1,00, isto é, em termos de base granular. Entrando-se em abscissas, com o valor de N, procede-se verticalmente

até encontrar a reta representativa da capacidade de suporte (I.S. ou C.B.R.) em causa e, procedendo-se horizontalmente, então, encontra-se, em ordenadas, a espessura do pavimento.

Supõe-se sempre, que há uma drenagem superficial adequada e que o lençol d'água subterrâneo foi rebaixado a, pelo menos, 1,50 m em relação ao greide de regularização.

No caso de ocorrência de materiais com C.B.R. ou I.S. inferior a 2, é preferível fazer a substituição, na espessura de, pelo menos, 1 m, por material com C.B.R. ou I.S. superior a 2.

A espessura mínima a adotar para compactação de camadas granulares é de 10 cm, a espessura total mínima para estas camadas, quando utilizadas, é de 15 cm e a espessura máxima para compactação é de 20 cm.

A Figura 17 apresenta simbologia utilizada no dimensionamento do pavimento, H_m designa, a espessura total de pavimento necessário para proteger um material com C.B.R. ou I.S. = CBR ou IS = m, etc., h_n designa, a espessura de camada do pavimento com C.B.R. ou I.S. = n, etc.

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.

Os símbolos B e R designam, respectivamente, as espessuras de base e de revestimento.

Uma vez determinadas as espessuras H_m , H_n , H_{20} , pelo gráfico da Figura 16, e R pela tabela apresentada, as espessuras de base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n), são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes inequações:

$$R K_R + B K_B \rightarrow H_{20}$$

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

$$R K_R + B K_B + h_{20} K_S + h_n K_{Ref} \rightarrow H_m$$

Acostamento

Não se dispõe de dados seguros para o dimensionamento dos acostamentos, sendo que a sua espessura está condicionada à da pista de rolamento, podendo ser feitas reduções de espessura, apenas na camada de revestimento. A solicitação de cargas é, no entanto, diferente e pode haver uma solução estrutural diversa da pista de rolamento.

A adoção nos acostamentos da mesma estrutura da pista de rolamento tem efeitos benéficos no comportamento desta última e simplifica os problemas de drenagem; na parte

correspondente às camadas de reforço e sub-base, adota-se, para acostamentos e pista de rolamento, a mesma solução, procedendo-se de modo idêntico para a parte correspondente à camada de base, quando o custo desta camada não é muito elevado. O revestimento dos acostamentos pode ser de categoria inferior ao da pista de rolamento.

Pavimentos por etapas

Quando não se dispõe de dados seguros sobre a composição de tráfego é conveniente à pavimentação por etapas, ao se completar o pavimento para o período de projeto definitivo, eliminarem-se as pequenas irregularidades que podem ocorrer nos primeiros anos de vida do pavimento.

A pavimentação por etapas é especialmente recomendável quando, para a primeira etapa, pode-se adotar um tratamento superficial como revestimento, cuja espessura é, perfeitamente desprezível; na segunda etapa a espessura a acrescentar vai ser ditada, pela condição de espessura mínima de revestimento betuminoso a adotar.

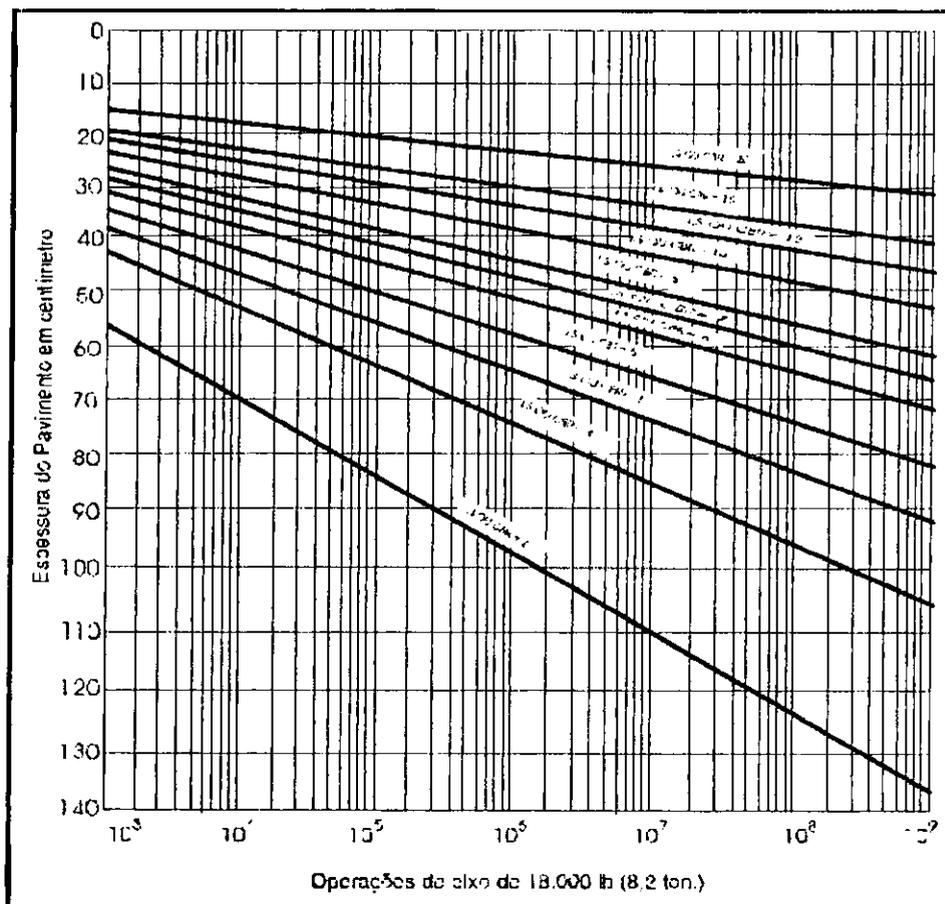


Figura 09 - Espessura Total do Pavimento

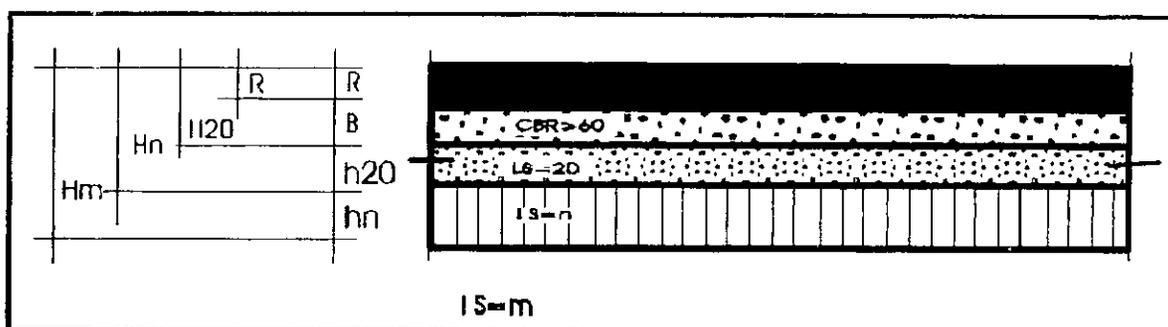


Figura 10 - Simbologia Utilizada

1.3. Bases e Sub-Bases Flexíveis

1.3.1. Terminologia das Bases

As Bases podem ser agrupadas segundo a seguinte classificação:

| | | | | | |
|---|---|--|---|---|--|
| <u>Rígidas</u> | { | Concreto de cimento Concreto Compactado com Rolo (CCR) Macadame cimentado | | | |
| <u>Semi-rígidas</u> | { | Solo-cimento - solo melhorado com cimento Solo-cal - solo melhorado com cal Base Granular Tratada com Cimento (BGTC) | | | |
| <u>Flexíveis</u> | { | <table border="0" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> Solos estabilizados Brita graduada Solo-brita Macadame hidráulico Macadame betuminoso Alvenaria poliédrica Paralelepípedo </td> <td style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td> Pela correção granulométrica Com adição de ligantes betuminosos Com adição de sais minerais Com adição de resinas </td> </tr> </table> | Solos estabilizados Brita graduada Solo-brita Macadame hidráulico Macadame betuminoso Alvenaria poliédrica Paralelepípedo | { | Pela correção granulométrica Com adição de ligantes betuminosos Com adição de sais minerais Com adição de resinas |
| Solos estabilizados Brita graduada Solo-brita Macadame hidráulico Macadame betuminoso Alvenaria poliédrica Paralelepípedo | { | Pela correção granulométrica Com adição de ligantes betuminosos Com adição de sais minerais Com adição de resinas | | | |

a) **Base de Concreto de Cimento** - Executada através da construção de placas de concreto, separadas por juntas transversais e longitudinais. Em um pavimento rígido esta camada tem as funções de base e revestimento.

b) **Concreto Compactado com Rolo (CCR)** - Concreto com baixo consumo de cimento, consistência seca e trabalhabilidade que permite o adensamento por rolos compressores. Suas principais vantagens são:

- Baixo consumo de cimento;
- Pouco material fino;
- Transporte por betoneira ou caminhão basculante (produção próxima à obra);
- Especificado pela resistência à tração na flexão ou compressão;
- Consistência seca;
- Adensado com rolo compressor.

c) Macadame Cimentado - Uma camada de brita é espalhada sobre a pista e sujeita a uma compressão, com o objetivo de diminuir o número de vazios, tornando a estrutura mais estável. Logo após é lançada uma argamassa de cimento e areia que penetra nos espaços vazios ainda existentes. O produto assim formado tem característica de um concreto pobre.

d) Solo-Cimento - É uma mistura de solo, cimento Portland e água, devidamente compactada, resultando um material duro, cimentado e de elevada rigidez à flexão. A porcentagem de cimento varia de 5 a 13% e depende do tipo de solo utilizado. Solos argilosos exigem porcentagens maiores de cimento. O resultado da dosagem é a definição da quantidade de solo, cimento e água de modo que a mistura apresente características adequadas de resistência e durabilidade. A dosagem requer a realização de alguns ensaios de laboratório, sendo a resistência à compressão axial o parâmetro mais utilizado. Será estudado no capítulo sobre estabilização dos solos para fins de pavimentação.

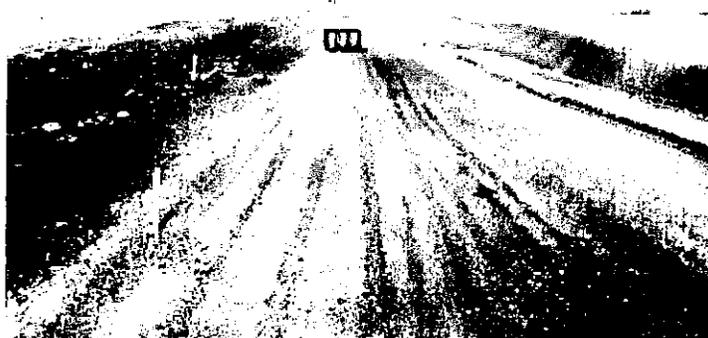


Figura 11 - Trecho Executado em Solo-Cimento

e) Base Granular Tratada com Cimento (BGTC) - É uma mistura de agregados minerais, cimento Portland e água. Tem procedimento de mistura e execução semelhante ao solo-cimento.

A mistura de agregados é constituída de produtos de britagem e areias, muito semelhante a uma brita graduada. O teor de cimento é menor que de um solo-cimento por se tratar de mistura granular. Normalmente a água é incorporada aos agregados na própria usina de mistura, podendo também ser incorporada na própria pista. A compactação é feita mediante rolagem com vibração.

f) Solo Melhorado com Cimento - Mistura de solo e pequena quantidade de cimento objetivando causar ao material natural uma modificação de suas características de plasticidade (reduzindo o IP) e também promover um ganho de resistência mecânica. Outra modificação importante ao solo é a alteração da sensibilidade à água, sem causar necessariamente uma cimentação acentuada. A porcentagem de cimento varia de 1 a 5% e o ensaio mais empregado para a definição da qualidade da mistura é o CBR. As bases feitas dessa forma são consideradas flexíveis.

g) Solo-Cal - É uma mistura de solo, cal e água. Também pode ser acrescido a esta mistura uma pozolana artificial, chamada fly-ash, que é uma cinza volante. Geralmente, solos de granulometria que reagem com a cal, proporcionando trocas catiônicas, floculações, aglomerações, produzem ganhos na trabalhabilidade, plasticidade e propriedades de caráter expansivo. Estes fenômenos processam-se rapidamente e produzem alterações imediatas na resistência ao cisalhamento das misturas. As reações pozolânicas resultam na formação de vários compostos cimentantes que aumentam a resistência e a durabilidade da mistura. A carbonatação é uma cimentação fraca.

h) Solo Melhorado com Cal - É a mesma idéia do solo-cal, porém neste caso há predominância dos fenômenos que produzem modificações do solo, no que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água, não oferecendo à mistura características acentuadas de resistência e durabilidade. As bases feitas desta maneira são consideradas flexíveis.

i) Solo Estabilizado por Correção Granulométrica - Também chamada de “estabilização granulométrica” ou “estabilização mecânica”. São executadas pela compactação de um material ou de misturas apropriadas de materiais que apresentam granulometria deferente e que são associados de modo a atender uma especificação qualquer. É o processo mais utilizado no país.

Quando o solo natural não apresenta alguma característica essencial para determinado fim de engenharia, é usual melhorá-lo através da mistura com outros que possibilitem a obtenção de um produto com propriedades de resistência adequadas.

j) Solo Estabilizado com Adição de Ligantes Betuminosos - É uma mistura de solo, água e material betuminoso. A modalidade solo-betume engloba mistura de materiais betuminosos e solos argilo-siltosos e argilo-arenosos. A presença do material betuminoso vai garantir a constância do teor de umidade da compactação na mistura, propiciando também uma impermeabilização no material. A obturação dos vazios do solo dificulta a ação de água capilar devido à criação de uma película hidrorrepelente que envolve aglomerados de partículas finas.

Nas chamada “areia betume” a função do material betuminoso é gerar força de natureza coesiva, uma vez que as areias não possuem estas características. Também encontramos designações como Solo-alcatrão e Solo-asfalto.

k) Solo Estabilizado com Adição de Sais Minerais - Assim como o cimento, a cal e o betume, a adição de sais minerais faz parte dos estudos de estabilização química. O cloreto de sódio e o de cálcio podem ser misturados ao solo com o objetivo de modificar alguns índices físicos, melhorando suas características resistentes. No Brasil é utilizado cimento com uma proporção de até 5%.

l) Solo Estabilizado com Adição de Resinas - Nestes casos é adicionada ao solo uma resina para fazer a função de material ligante. Como exemplo pode-se citar a lignina que é proveniente da madeira, utilizada na fabricação do papel. A utilização de resinas, assim como de sais minerais para fins de estabilização são de pouco uso no Brasil.

m) Brita Graduada - Também chamada de brita corrida. É uma mistura de brita, pó de pedra e água. São utilizados exclusivamente produtos de britagem que vem preparado da usina. Este tipo de material substituiu o macadame hidráulico. Também encontramos a designação “bica corrida” que é uma graduação da brita corrida, porém todo o material proveniente da britagem é passado através de uma peneira com malha de um diâmetro máximo, sem graduação uniforme.

n) Solo Brita - É uma mistura de material natural e pedra britada. Usado quando o solo disponível (geralmente areno-argiloso) apresenta deficiência de agregado graúdo (retido na #

10). A pedra britada entra na mistura para suprir esta deficiência, aumentando as características de resistência do material natural.



Figura 12 – Pedreira em Atividade Produzindo Materiais para Execução de Base de Brita Graduada

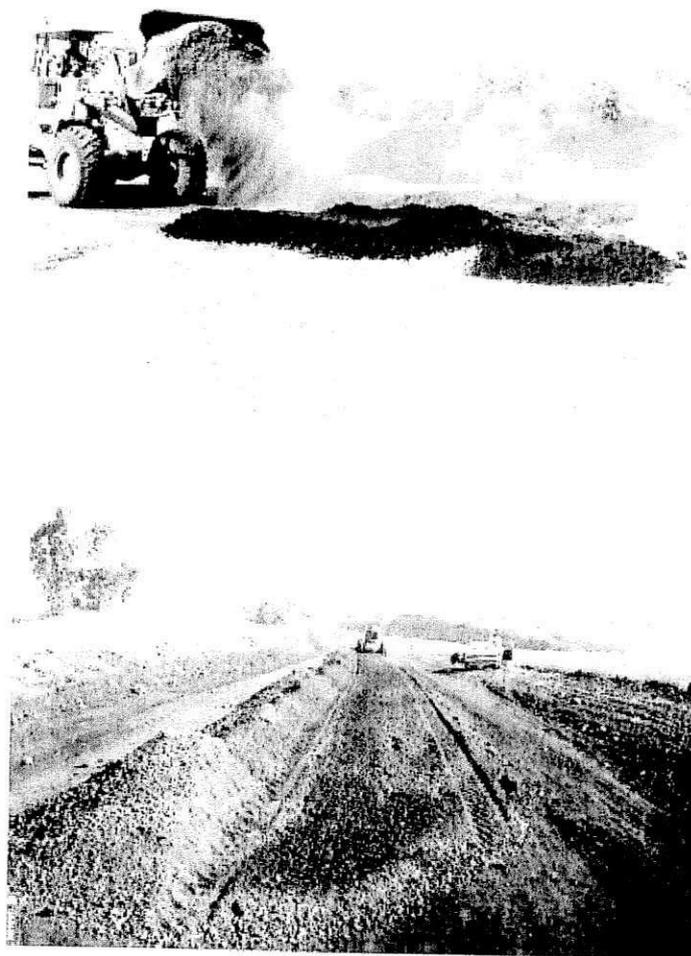


Figura 13 – Preparação e Execução de Trecho em Solo-Brita

o) **Macadame Hidráulico** - Sua execução consiste no espalhamento de uma camada de brita de graduação aberta que é compactada para a redução dos espaços vazios. Em seguida espalha-se uma camada de pó de pedra sobre esta camada com a finalidade de promover o preenchimento dos espaços vazios deixados pela brita. Para facilitar a penetração do material de preenchimento, molha-se o pó de pedra e promove-se outra compactação. Esta operação é repetida até todos os vazios serem preenchidos pelo pó de pedra.

Este tipo de procedimento foi substituído pela pedra britada, que já vem preparada da usina.



Figura 14– Execução de Trecho em Macadame Hidráulico

p) **Macadame Betuminoso** - O macadame betuminoso por penetração consiste do espalhamento do agregado, de tamanho e quantidades especificadas, nivelamento e compactação. Em seguida é espalhado o material betuminoso que penetra nos vazios da

agregado, desempenhando a função de ligante. Todas estas operações são executadas na própria pista.

q) Alvenaria Poliédrica ou Paralelepípedo - São pedras irregulares ou paralelepípedos assentados num colchão de areia sobre uma sub-base. Podem funcionar como base, quando um outro revestimento é usado sobre sua superfície. Também são usados como revestimento final, desempenhando, as funções de revestimentos.

1.3.2. Construção das Camadas do Pavimento

1.3.2.1. Operações Preliminares

a) Regularização do subleito - São operações de corte ou aterro para conformar transversal e longitudinalmente a estrada. Engloba pista e acostamento com movimentos de terra máximo de 20 cm de espessura.

Os principais serviços a serem executados são a busca da umidade ótima e a compactação até atingir 100% de densidade aparente máxima seca.

b) Reforço do subleito - O reforço do subleito é executado sobre o subleito regularizado. As características do material a ser utilizado devem ser superiores ao do subleito e largura de execução desta camada é igual à da regularização ou seja (pista + acostamento).

1.3.2.2. Operação de Construção de Sub-Bases e Bases

Estas operações podem ser aplicadas para construção de sub-bases e bases estabilizadas granulometricamente, solo-brita, brita graduada, havendo alguns detalhes que diferem para cada caso em particular.

As bases em cimentadas (solo-cimento, BGTC, CCR) serão consideradas separadamente

a) Escavação, carga e descarga - Os tratores produzem o material na jazida e armazenam numa praça. As carregadeiras retiram o material da praça e carregam os caminhões. Estes últimos transportam o material da jazida até a pista, descarregando em pilhas.

b) Empilhamento - Ao descarregar o material na pista, os caminhões formam pilhas.

c) Mistura e espalhamento

Mistura

No caso de haver 2 ou mais materiais a serem utilizados, procede-se a mistura antes do espalhamento. A mistura pode ser feita com o emprego de:

- Máquinas agrícolas e motoniveladora (Patrol);
- Máquinas móveis: equipamento pulvimisturador (pulvimix) ou usina móvel;
- Máquinas estacionárias ou usinas fixas.

Espalhamento

É feito com o emprego de motoniveladora. A espessura solta do material a ser espalhado pode ser calculada, sendo função da espessura da camada acabada.

$$M = \gamma \times V ; M_s = M_c \rightarrow \gamma_s \times (1 \times 1 \times e_s) \rightarrow e_s = \frac{\gamma_c}{\gamma_s} \times e_c$$

Onde:

Ms - Massa solta

Mc - Massa compactada

ec - Espessura compactada (a de projeto + 1 cm para raspagem)

es - Espessura solta

c - Densidade compactada (de laboratório máx)

s - Densidade solta: determina-se o peso de um volume conhecido.

O controle da espessura durante o espalhamento é feito através de linhas e estacas.

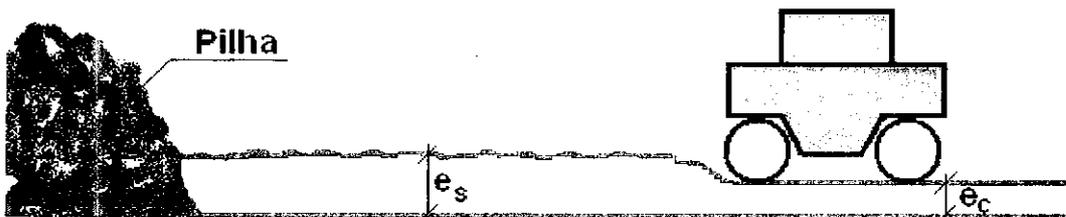


Figura 15 – Esquema de Espalhamento de Material na Pista

Para o caso de dois ou mais materiais (mistura) a espessura solta pode ser calculada da

seguinte forma:

$$es_{M1} = \frac{X}{100} \times ec_M \times \frac{\gamma_{CM}}{\gamma_{SM1}} ; \quad es_{M2} = \frac{Y}{100} \times ec_M \times \frac{\gamma_{CM}}{\gamma_{SM2}}$$

O volume de material solto (V_s) a ser importado para a pista é calculado da seguinte maneira:

$$V_s = es \times L \times E$$

Onde: E - extensão do trecho

L - largura da pista

es - espessura solta

O número de viagens necessárias (N) para transportar o material para a pista é assim determinado:

$$N = V_s / q$$

Onde: q = capacidade de cada caminhão.

O espaçamento das pilhas (d) é determinado da seguinte maneira: $d = E / N$

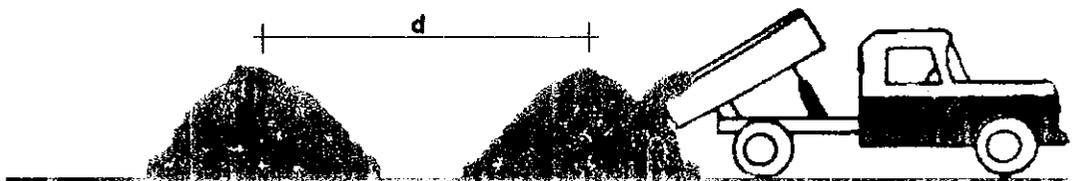


Figura 16 – Esquema de Espalhamento de Pilhas

As operações de mistura e espalhamento podem ser executadas por Pulvimisturadoras e Usinas Móveis onde os materiais empilhados são carregados, pulverizados, misturados e espalhados diretamente na estrada, na espessura solta desejada.

Também podem ser utilizadas Usinas Fixas, onde as misturas de materiais, as proporções corretas, a granulometria, a adição de água e aditivo são controladas e permitem a produção de volumes maiores de materiais misturados.

d) Pulverização - Esta operação normalmente é utilizada em materiais de natureza coesiva. Podem ser usados escarificadores, grades de disco, arados, ou mesmo uma pulvimix.

As funções principais da pulverização são:

- Destorroar o material sem promover quebra de partículas;
- Mistura de água ou aditivo ao solo (solo cimento);
- Fazer aeração do solo quando a h_{campo} encontra-se acima da h_{ot} .

e) Umidificação ou secagem - Operação feita por caminhão pipa munidos de bombas para enchimento. Se o caminhão for munido de distribuidor de água de pressão, pode-se calcular a quantidade de água a ser misturada ao solo para deixá-lo na condição de h_{ot} .

Se o caminhão for munido de distribuidor de água por gravidade, a umidificação é feita por tentativas. Pode-se usar também a pulvimisturadora para misturar água ao solo. O controle da umidade na pista normalmente é feita pelo método do Speedy ou frigideira.

Após a distribuição da água, em várias passadas, pelo caminhão pipa, a homogeneização da mistura é feita com grade de disco ou motoniveladora (Patrol).

f) Compactação no campo - A aplicação de energia no campo pode ser feita utilizando-se os seguintes meios:

Por pressão ou rolagem

São utilizados vários tipos de rolos, onde o princípio básico é: $p = P / A$

Onde: P - peso do equipamento

A - área de contato

p - pressão de compactação

Rolo Liso

- para solos granulares
- para acabamento

Rolo Pneumático (pressão variável)

- pneu vazio → maior área: menor pressão
- pneu cheio → menor área: maior pressão

Rolo Pé de Carneiro

- para solos argilosos
- compacta de baixo para cima

Por impacto ou percussão

São utilizados bate-estacas, martelos automáticos ou sapos mecânicos. Usados em locais de difícil acesso: perto de edifícios, valetas, ruas, calçadas.

Por vibração

São considerados por vibração quando os impactos impostos pelo equipamento são maiores que 500 r.p.m (1500 e 2000 r.p.m). A vantagem deste tipo de compactação é a possibilidade de compactação de espessuras maiores devido ao efeito das ondas de propagação de energia. A grande desvantagem é a possibilidade de se causar danos ao equipamento quando se compacta um solo já compactado. São utilizados os seguintes rolos:

- Rolo Liso vibratório
- Rolo Pé-de-carneiro vibratório
- Placas vibratórias

A execução da compactação deve ser conduzida de forma adequada, observando-se o formato da superfície a ser compactada:

- Trechos em tangente a compactação deve ser feita dos bordos para o eixo. Este procedimento é justificado pelo acúmulo de material que se dará no centro da pista.
- Nos trechos em curva a compactação deve ser feita do bordo interno para externo. O controle da compactação é feito em duas etapas:

Ao se iniciar um serviço de compactação, controla-se preliminarmente o número de passadas, a espessura das camadas e o teor de umidade (método de campo). Ao se definir estes parâmetros experimentalmente passa-se a controlar o grau de compactação (GC).

O grau de compactação é encontrado através da seguinte relação:

$$GC = \frac{\gamma_{dcampo}}{\gamma_{dmáx}} \times 100 \text{ (método do frasco de areia é o mais usado)}$$

Este controle é feito, normalmente de 100 em 100m, alternando-se o local de verificação, ou seja, o controle é feito na seqüência: bordo direito, eixo, bordo esquerdo, eixo, bordo direito.

Quando o GC encontrado é menor que o especificado (p.e GC < 100%), deve-se abrir todo o trecho compactado, escarificando-o, e repetindo-se todas as operações de compactação

novamente.

A espessura de compactação mínima é de 10cm e a máxima é de 20cm.

O teor de umidade deve ser controlado de 100 em 100m, tolerando-se uma variação de $\pm 2\%$ em relação ao valor da umidade ótima do solo.

g) Controles

Controle tecnológico

- Para regularização e reforço do subleito
 - Ensaios de caracterização: de 250 em 250m ou 2 ensaios por dia .
 - ISC ou CBR: de 500 em 500m ou 1 ensaio para cada 2 dias.
 - GC: de 100 em 100m (massa esp. aparente in situ)
- Para sub-base e base
 - Ensaios de caracterização: de 150 em 150 m
 - CBR: de 300 em 300 m
 - GC: de 100 em 100 m
 - EA: de 100 em 100 m. Se $LL > 25$ e/ou $IP > G$ (base)

Controles Geométricos

- Para regularização e reforço do subleito
 - ± 3 cm em relação às cotas do projeto
 - ± 10 cm em relação à largura da plataforma
 - até 20% na flecha de abaulamento
- Para sub -base e base
 - + 2 cm em relação às costas de projeto
 - idem anterior
 - idem anterior

Aceitação (Análise Estatística)

Os parâmetros especificados para as variadas fases da construção de sub-bases e bases (granulometria, LL, IP, CBR, GC, etc) devem ser submetidos a uma análise estatística para

aceitação. Os valores máximos e mínimos decorrentes da amostragem a serem confrontados com os valores especificados serão calculados pelas fórmulas de controle estatístico recomendadas pelo contratante.

1.4. Estabilização dos Solos para Fins de Pavimentação

1.4.1. Conceito de Estabilização para Rodovias e Aeroportos

Estabilizar um solo significa conferir-lhe a capacidade de resistir e suportar as cargas e os esforços induzidos pelo tráfego normalmente aplicados sobre o pavimento e também às ações erosivas de agentes naturais sob as condições mais adversas de solicitação consideradas no projeto.

1.4.2. Objetivo

Compreende todos os processos naturais e artificiais aplicados aos solos, objetivando melhorar suas características de resistência mecânica, bem como garantir a constância destas melhorias no tempo de vida útil das obras de engenharia.

1.4.3. Importância

O domínio das técnicas de estabilização pode conduzir a sensíveis reduções nos tempos de execução das obras, viabilizando a industrialização do processo construtivo, propiciando uma economia substancial para o empreendimento.

1.4.4. Estudos e Análises

A estabilização de um solo consiste de um estudo da resistência do solo e da suplementação necessária desta resistência. Baseado neste estudo é escolhido um método qualquer para a suplementação da resistência, e isto é feito segundo análises econômicas e técnicas do problema em questão.

1.4.5. Métodos de Estabilização

Devido às disparidades e semelhanças nos processos e mecanismos utilizados para a estabilização de solos, adota-se a natureza da energia transmitida ao solo como um critério para

a classificação dos métodos de estabilização. Desta forma podemos citar os seguintes tipos de estabilização: *mecânica, granulométrica, química, elétrica e térmica.*

Tem surgido nos últimos tempos, uma grande variedade de outros métodos e processos construtivos que visam oferecer ao solo, características de resistência e melhoria de suas qualidades naturais e que podem ser classificados como *Métodos especiais de estabilização:*

- Solos Reforçados com Geossintéticos;
- Solo pregado; Colunas Solo-Cal;
- Colunas Solo-Brita;
- Compactação Dinâmica;
- Jet Grouting;
- Compaction Grouting;
- Drenos Verticais de Areia;
- Micro Estacas;
- Estabilização Via Fenômenos de Condução em Solos.

A *Estabilização Mecânica ou estabilização por compactação* visa dar ao solo (ou mistura de solos) a ser usado como camada do pavimento uma condição de densificação máxima relacionada a uma energia de compactação e a uma umidade ótima. É um método que sempre é utilizado na execução das camadas do pavimento, sendo complementar a outros métodos de estabilização.

A *Estabilização Granulométrica* consiste da alteração das propriedades dos solos através da adição ou retirada de partículas de solo. Este método consiste, no emprego de um material ou na mistura de dois ou mais materiais, de modo a se enquadrarem dentro de uma determinada especificação.

A *Estabilização Química* quando utilizada para solos granulares visa principalmente melhorar sua resistência ao cisalhamento (causado pelo atrito produzido pelos contatos das superfícies das partículas) por meio de adição de pequenas quantidades de ligantes nos pontos de contato dos grãos. Os ligantes mais utilizados são o Cimento Portland, Cal, Pozolanas, materiais betuminosos, resinas, etc.

Nos solos argilosos (coesivos) encontramos estruturas floculadas e dispersas que são mais sensíveis a presença de água, influenciando a resistência ao cisalhamento.

1.4.6. Estabilização Solo-Cimento

“Solo-cimento é o produto endurecido resultante da mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de dosagem racional, executada de acordo com as normas aplicáveis ao solo em estudo”.

No Brasil, o solo cimento passou a ser utilizado a partir de 1940 na área de pavimentação e em 1948 já havia aplicação na construção de paredes de solo-cimento.

Mais de meio século de experiência brasileira com a tecnologia do solo-cimento possibilitaram o aparecimento de variadas aplicações dentro das obras de engenharia como: Pavimentação de ruas e estradas; passeios para pedestres; quadras esportivas; revestimento de barragens; silo -trincheira; terreiros de café; obras de contenção; canalização e proteção de pontes; habitação (tijolos, blocos, lajotas, paredes monolíticas, fundações e pisos).

1.4.6.1. Execução na Pista

A mistura solo-cimento pode ser executada de duas formas:

| | |
|---------------------|---|
| Mistura no local: | { com material da própria estrada com material vindo de fora |
| Mistura em Central: | { usinas fixas: Betoneira, grandes centrais usinas móveis: Pulvi-mix |

As misturas feitas em usinas fixas (centrais de usinagem) constituem um processo mais eficiente, uma vez que o produto final é praticamente perfeito e muito mais rápido que o processo de mistura na pista.

A utilização de usinas de solo-cimento é justificada em função da quantidade do serviço a ser executado, não sendo utilizada para pequenas quantidades. As instalações de uma usina de solo-cimento são praticamente as mesmas de uma usina de solos convencional.

1.4.7. Estabilização Solo-Cal

A Cal é um aglomerante resultante da calcinação de rochas calcárias (calcários ou dolomitos), a uma temperatura inferior à do início de fusão do material.

Dentre as várias opções de aplicação da cal pode-se citar: dar plasticidade às argamassas, construção de sub-bases e bases, fabricação de tijolos, blocos e painéis.

1.4.7.1. A Mistura Solo-Cal

É uma técnica de estabilização utilizada em vários países. Suas principais funções são:

- Melhoria permanente das características do solo;
- Aumenta a resistência à ação da água;
- Melhoria do poder de suporte;
- Melhoria da trabalhabilidade de solos argilosos.

Ao misturar a cal ao solo em condições ótimas de umidade, ocorrem reações químicas que provocam alterações físicas nos mesmos:

- O índice de plasticidade (IP) cai;
- O limite de plasticidade (LP) aumenta e o limite de liquidez (LL) cai;
- A fração do solo passante na peneira nº80 (0,42mm) decresce;
- A contração linear e expansão decrescem;
- A água e a cal aceleram a desintegração dos torrões de argila durante a pulverização, tornando os solos mais trabalháveis;
- A resistência à compressão aumenta;
- Aumento da capacidade de carga;
- Facilita a secagem do solo em áreas alagadiças;
- Nas bases e sub-bases estabilizadas com cal, produz uma barreira resistente à penetração da água por gravidade e promove rápida evaporação da umidade existente.

1.4.7.2. Tipos de Estabilização com Cal

- a) **Solo modificado com cal** - visa reduzir a plasticidade do solo e aumentar a trabalhabilidade.
- b) **Solo cimentado com cal** - visa obter um material com maior resistência e durabilidade. A avaliação da capacidade de suporte das misturas solo-cal é feita mediante o ensaio de ISC (CBR). Normalmente são utilizados procedimentos de dosagem experimentais.

1.4.8. Estabilização Solo-Betume

É uma mistura de materiais betuminosos (emulsão, asfaltos líquidos, alcatrões) e solos argilo-siltosos ou argilo-arenosos para trabalharem como material estabilizado para base ou sub-base, impermeabilizando o solo e aumentando o seu suporte.

1.4.8.1. Tipos de Misturas

- Areia-asfalto ou areia-betume: é a mais difundida, com facilidade de controle da qualidade e economicamente mais competitiva.
- Solo-betume: seu controle é mais rigoroso, maior teor de betume e com funções de impermeabilização.

1.4.8.2. Principais Funções do Betume

a) **Quando usado em solos granulares** (areia-betume) - A função do ligante é gerar forças de natureza coesiva ao solo, aumentando de certa forma o seu valor de suporte.

b) **Quando usada em solos argilosos** (solo-betume) - A função do ligante é garantir a constância, na mistura, do teor de umidade de compactação, promovendo uma ação impermeabilizante. Esta ação é realizada tanto pelo obturamento dos canalículos do solo, por onde poderia ocorrer uma ação capilar da água, como pela criação de películas hidrorrepelentes envolvendo agregação de partículas finas que impedem que a água penetre na mistura.

1.4.8.3. Teor de Betume

Varia em torno de 4 a 6% em peso de solo seco, sendo função da quantidade de argila, silte, areia, vazios e densidade do solo.

Quanto mais fino o solo, maior será a quantidade de betume requerida. Quando usado em excesso, diminui a estabilidade e passa a agir como lubrificante.

1.4.8.4. Métodos de Dosagem

Existem alguns métodos que podem ser utilizados, sendo todos extraídos da literatura americana: Método Califórnia modificado; Método Hubbard Field; Ensaio do penetrômetro de cone; Ensaio do valor do suporte Flórida; Ensaio do índice de suporte Texas.

1.4.9 Estabilização Granulométrica

Serão abordados os processos pelos quais se misturam dois ou mais agregados de granulometrias diferentes de modo a enquadrá-los em uma especificação qualquer. É comum a apresentação da especificação em “faixas de trabalho” onde são mostrados o limite inferior e superior da granulometria. Desta forma, a granulometria ideal a ser alcançada ou exigida é aquela que representar o ponto médio dos limites extremos.

Os projetos de mistura de agregados são muito utilizados na execução de bases e sub-bases estabilizadas granulometricamente, em misturas betuminosas ou quaisquer outras misturas que envolvam dois ou mais materiais de granulometrias diferentes (misturas solo-cimento, solo-cal, macadames, etc.).

Os solos arenosos são facilmente destruídos por ações abrasivas, quando analisados separadamente, devido a falta do “ligante”. Já os solos argilosos, também analisados separadamente, são muito deformáveis, com baixa resistência ao cisalhamento, quando absorvem água. Na prática, é necessário misturarmos estes dois tipos de solos, ou seja, solos com características granulares e solos com características coesivas, para obtermos uma mistura com propriedades ideais de resistência e trabalhabilidade.

1.4.9.1. Métodos de Misturas

Para se atender uma determinada granulometria, exigida por uma especificação qualquer, e dispendo-se de dois ou mais materiais, podemos construir um material ideal que seja uma mistura conveniente dos outros materiais. Para a execução desta mistura em causa, depõe-se de alguns processos de cálculo, quais sejam:

- Método analítico;
- Método das tentativas;
- Métodos gráficos;
- Método do triângulo equilátero;

- Método de rutfuchs;
- Método das composições sucessivas.

1.5. Agregados para Pavimentação

A quantidade de agregado mineral em misturas asfálticas de pavimentação é geralmente de 90 a 95% em peso e 70 a 85% em volume e esta parcela é em parte a responsável pela capacidade de suporte de cargas dos revestimentos, influenciando assim o desempenho dos pavimentos. Na pavimentação asfáltica o agregado é usado comumente na base e eventualmente na sub-base. Na pavimentação rígida o agregado é usado na confecção do concreto de cimento Portland.

A NBR 9935 determina a terminologia dos agregados, o termo “agregado” é definido como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassa e concreto.

Quanto à classificação dos agregados segundo sua natureza são divididos em:

- *Naturais*: aqueles que são utilizados tal como se encontram na natureza, salvo operações de britagem e lavagem como, os cascalhos, saibros, areias;
- *Artificiais*: aqueles que resultam de uma alteração física ou química de outros materiais, como a escória de alto forno, argila expandida, ou que exige extração como é o caso das rochas, sendo a pedra britada o tipo mais comum.

Amostragem de Agregados

Para projeto de misturas asfálticas são usadas amostras representativas e para controle de qualidade são tomadas amostras aleatórias. Se amostras representativas não são tomadas, todos os ensaios conduzidos nos agregados não tem sentido, e isto pode resultar em um projeto ou execução de mistura asfáltica com má qualidade, resultando em um desempenho insatisfatório.

Amostras de agregados são normalmente tomadas de pilhas de estocagem, correias transportadoras, silos quentes ou às vezes de caminhões carregados. O melhor local para obter uma amostra é de uma correia transportadora, entretanto, a largura total de fluxo na correia deve ser amostrada, uma vez que o agregado também segrega na correia.

Uma amostra representativa é obtida pela combinação de um número de amostras aleatórias por toda parte em um período de tempo (um dia para amostras em correias) ou tomando amostras de várias locações em pilhas de estocagem e combinando estas amostras. As amostras devem ser tomadas de modo que o efeito da segregação seja minimizado nas pilhas. O agregado no fundo da pilha é usualmente mais graúdo que no resto da pilha. O método preferido de amostragem em uma pilha é escalar seu lado, entre o fundo e a ponta, remover o agregado superficial e obter uma amostra debaixo da superfície.

Segundo ROBERTS et al (1996) são as propriedades físicas dos agregados que determinam principalmente a adequação para o uso em misturas asfálticas e em menor extensão as propriedades químicas. São propriedades físicas/mecânicas básicas a densidade, porosidade e a resistência. Propriedades químicas/físico-químicas tais como umidade, adesão e descolamento são função da composição e estrutura dos minerais no agregado. Uma compreensão da mineralogia e identificação de minerais pode produzir informações sobre propriedades físicas e químicas potenciais de um agregado para um determinado uso.

1.5.1. Propriedades Físicas dos Agregados

Agregados para misturas asfálticas são usualmente classificados pelo tamanho como agregados graúdos, miúdos e fileres mineral. A ASTM C294 “Nomenclatura descritiva dos constituintes dos agregados minerais naturais” define agregado graúdo como partículas retidas na peneira nº 4 (4,8mm), agregado fino como aquele que passa na peneira nº 4 e filer mineral como o material com um mínimo de 70% passante na peneira nº 200 (0,075mm). As especificações americanas SUPERPAVE do programa SHRP definem o material passante na peneira nº 200 (0,075mm) como “dust”, podendo ser traduzido como “pó” para diferenciar de termo filer. O Instituto de Asfalto usam a peneira nº 8 (2,36mm) como ou a peneira nº 10 (2,0mm) como a linha que divide os agregados graúdos dos miúdos.

Para o DNER considera-se agregado graúdo aquele cujas partículas ficam retidas na peneira de 2,0 mm (nº 10), agregado miúdo aquele cujas partículas ficam retidas entre as peneiras de 2,0 mm (nº 10) e 0,075 mm (nº 200). O filer ou material de enchimento é aquele que deve ter pelo menos 65% passante na peneira de 0,075 mm (nº 200). A Especificação de Material EM 367/97 “Material de enchimento para misturas betuminosas” do DNER determina uma faixa granulométrica para o filer, onde o material deve ser 100% passante na peneira de

0,42 mm (n° 40), ter entre 95 e 100% de material passante na peneira de 0,18 mm (n° 80) e entre 65 e 100% passante na peneira de 0,075 mm (n° 200). Cita como exemplos de fíler o cimento Portland, o pó calcário e a cal hidratada.

Agregado para misturas asfálticas geralmente deve ser: duro, tenaz, forte, durável (são), bem graduado, ser constituído de partículas cúbicas com baixa porosidade e com superfícies limpas, rugosas e hidrofóbicas. A adequação de agregados para uso em misturas asfálticas é determinada pela avaliação das seguintes características:

- 1 - Tenacidade;
- 2 - Resistência Abrasiva;
- 3 - Dureza;
- 4 - Durabilidade;
- 5 - Forma da Partícula (lamelaridade e angulosidade);
- 7 - Textura Superficial;
- 8 - Porosidade e Absorção;
- 9 - Características expansivas;
- 10 - Tamanho e graduação;
- 11 - Densidade Específica / Massa Específica.

Os agregados devem transmitir as cargas de rodas às camadas sobrejacentes por intermédio do atrito interno e também devem ser resistentes à abrasão e ao polimento devido ao tráfego. São sujeitos à fragmentação (quebra) e ao uso abrasivo durante sua produção, transporte e compactação das misturas asfálticas. Eles devem ser duros e tenazes para resistir a britagem, degradação e desintegração quando estocados, manipulados através de algum equipamento durante a produção de uma mistura asfáltica, espalhadas no pavimento, compactados com rolos e quando solicitados por caminhões (ROBERTS et al 1996).

A Abrasão Los Angeles é uma medida preliminar da resistência do agregado graúdo à degradação por abrasão e impacto. Este ensaio não é satisfatório para uso em escórias, cinzas vulcânicas ou outros agregados leves. A experiência mostra que muitos destes agregados produzem excelente desempenho mesmo com valor de abrasão Los Angeles alto. Um detalhe que deve ser observado quando se utilizam agregados com alto valor de abrasão Los Angeles em misturas asfálticas é a produção de pó durante sua manipulação e a produção da mistura asfáltica. O alto índice de pó poderá causar problemas ambientais assim como problemas no controle da mistura.

As especificações brasileiras para serviços de pavimentação que envolvem o uso de agregados como execução de camadas de base e revestimento, normalmente limitam o valor da Abrasão Los Angeles (LA) entre 40 e 55%.

Métodos de Ensaio de Características Mecânicas e Valores de Aceitação de Agregados

| Métodos de Ensaio | Valores Limite – Tentativa |
|--|--|
| DNER ME 35/94 "Agregado – determinação da abrasão Los Angeles" | LA ≤ 65% |
| DNER ME 399/99 "Agregados – determinação da perda ao choque no aparelho Treton" | T ≤ 60% |
| DNER – ME 96/98: Agregado graúdo avaliação da resistência mecânica pelo método dos 10% de finos" | 10% Finos ≥ 60 KN |
| ME 401/99 "Agregados – determinação do índice de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante – IDML e sem ligante – IDM" | IDM c/ Ligante ≤ 5 IDM s/ Ligante ≤ 8 |
| ME 398/99 "Agregados – determinação do índice de degradação após compactação Proctor IDP" | IDP ≤ 6 |
| ME 397/99 "Agregados – determinação do índice de degradação Washington – IDW" | IDW ≥ 30 |
| ME 197/97 ou NBR 9938 "Agregados – determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos" | E ≥ 60 |

1.5.1.1. Análise Granulométrica

A graduação do agregado é a distribuição dos tamanhos de partículas expressa em porcentagem do peso total. A graduação é obtida fazendo-se passar o material através de uma série de peneiras empilhadas com aberturas progressivamente menores, e pesando-se o material retido em cada uma.

A graduação é talvez a propriedade mais importante de um agregado. Ela afeta quase todas as propriedades importantes de uma mistura incluindo rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga, resistência por atrito e resistência ao dano por umidade. Por isso, a graduação é a primeira consideração num projeto de mistura asfáltica e as especificações usadas pela maioria dos estados americanos colocam limites na graduação do agregado que pode ser usado numa mistura asfáltica.

As graduações são expressas como porcentagem passante total, que indica o percentual total de agregado em peso que passa em cada uma das peneiras. A porcentagem retida total é o somatório do peso retido em cada uma das peneiras.

Em todas as especificações de pavimentos asfálticos de mistura a quente é estabelecido que as partículas de agregado devam estar dentro de uma gama de tamanhos e que cada

tamanho de partícula esteja presente em certa proporção. Esta distribuição dos vários tamanhos de partículas do agregado é conhecida como graduação do agregado ou graduação da mistura.

Para ROBERTS et al (1996) a melhor graduação para uma mistura betuminosa é aquela que proporcione um arranjo das partículas mais denso. Com a máxima densidade ter-se-ia aumento na estabilidade, através do aumento dos contatos interpartículas e se reduziria os vazios no agregado mineral. Porém, deverão existir suficientes espaços vazios para permitir que o cimento asfáltico seja incorporado para assegurar durabilidade e para evitar exsudação e/ou afundamento. Misturas densas também são mais sensíveis a pequenas variações do teor de asfalto.

Por ser improvável que um simples material natural ou britado alcance estas especificações, dois ou mais agregados de diferentes graduações são tipicamente misturados para alcançarem os limites especificados.

A NBR 7217, denominada: Agregados - Determinação da composição granulométrica, define duas grandezas bastante utilizadas no estudo dos agregados:

a) Dimensão máxima característica - Grandeza associada a distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em mm, da malha de peneira da série normal ou intermediária, na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa. Este termo é costumeiramente chamado de “Diâmetro Máximo” e também pode ser designado pela abertura nominal de uma peneira pela qual a porcentagem passante seja igual ou imediatamente superior a 95% em massa.

b) Módulo de finura - Soma das percentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100. Relembrado a NBR 5734 - Peneiras para ensaio, a série normal e intermediária são assim constituídas, de acordo com o tamanho nominal das aberturas (em mm):

- Série Normal: 76 - 38 - 19 - 9,5 - 4,8 - 2,4 - 1,2 - 0,6 - 0,3 - 0,15

- Série Intermediária: 64 - 50 - 32 - 25 - 12,5 - 6,3

O cimento Portland é considerado um fíler, do ponto de vista granulométrico, bastante usado nas misturas betuminosas, mas em concreto de cimento é considerado como elemento aglutinante (ligante).

Os resultados de análises granulométricas de um agregado pode ser apresentado sob a forma de curva granulométrica (Figura 24), geralmente sob a forma de porcentagem total passante em cada peneira.

Para o DNER:

- pedrisco: $6,4 \text{ mm} > d > 2,00 \text{ mm}$
- pó de pedra : $d < 2,00 \text{ mm}$

As curvas granulométricas podem se apresentar segundo duas formas típicas:

Granulação descontínua é aquela na qual existe uma falta ou deficiência de certa fração de tamanho de partículas (curva 3 da Figura 24).

Granulometria contínua é aquela onde estão presentes todos os tamanhos de partículas, desde o tamanho máximo até o mínimo (curva 1,2,4 e 5 da Figura.24).

É a forma adequada e preferencial de se trabalhar em pavimentação, pois evita a segregação no decorrer do processo construtivo. São classificadas em:

Curvas de graduação densa (fechada): são aqueles que contém de forma adequada todas as frações granulométricas (curva 1) e satisfazem a equação de Fuller-Talbot :

$$P = 100 (d/D)^n$$

Onde: **P:** porcentagem, em peso, que passa na peneira de abertura “d”

d: diâmetro da abertura da peneira

D: diâmetro máximo do agregado

n: expoente que varia de 0,4 a 0,6.

Para valores de “n” abaixo de 0,4, há excesso de finos (curva 5) e acima de 0,6 há deficiência de finos (curva 2). Misturas densas apresentam pequena porcentagem de vazios e boa estabilidade.

Curvas de graduação aberta: são aquelas onde existe uma deficiência de finos, sobretudo de material que passa na # 200. Satisfazem a equação de F.T. para $n > 0,6$. (curva 2)

Curvas de graduação uniforme: são aqueles que apresentam curva granulométrica onde o tamanho máximo é próximo do tamanho mínimo. (curva 4). Satisfazem a equação de F.T. para $n \gg \gg \gg 0,6$.

Os agregados cujo tamanho mínimo está acima da # 4 são chamados de agregados tipo macadame (one size agregades).

Outra maneira de estimar a graduação dos agregados é através do coeficiente de curvatura (Cc) onde os agregados de graduação densa devem apresentar um Cc compreendido entre 1 e 3.

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Onde: Cc: coeficiente de curvatura

D30: tamanho correspondente a porcentagem passante de 30%

D10: tamanho correspondente a porcentagem passante de 10%

D60: tamanho correspondente a porcentagem passante de 60%

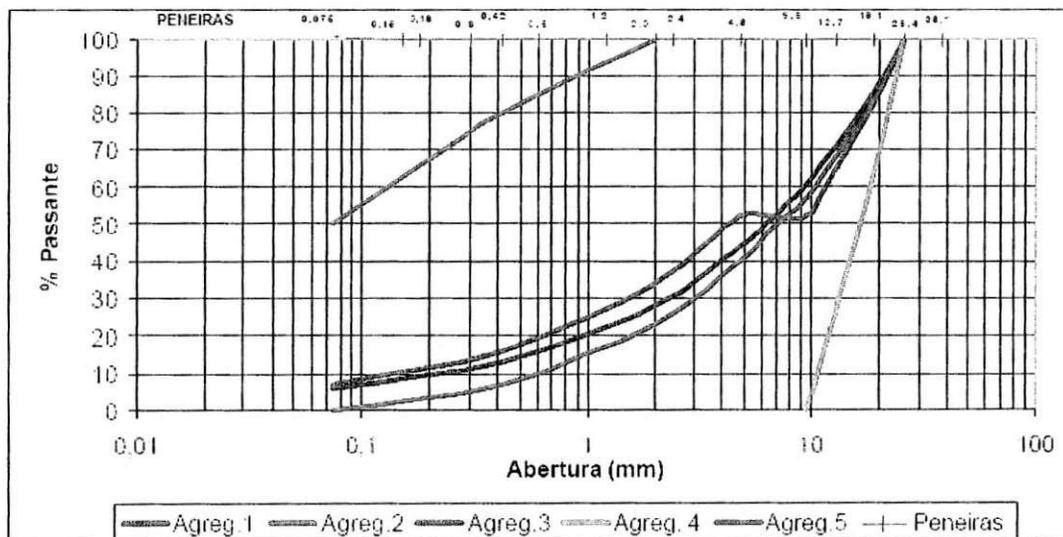


Figura 17 – Curvas Granulométricas Típicas

1.6. Materiais Asfálticos

1.6.1. Definições

Asfalto - Material de consistência variável, cor pardo-escuro, ou negro, e no qual o constituinte predominante é o betume, podendo ocorrer na natureza em jazidas ou ser obtido pela refinação do Petróleo.

Betume - Mistura de hidrocarbonetos pesados, obtidos em estado natural ou por diferentes processos físicos ou químicos, com seus derivados de consistência variável e com poder aglutinante e impermeabilizante, sendo completamente solúvel no bissulfeto de carbono (CS₂) ou tetracloreto de carbono (CCL₄).

1.6.2. Classificação quanto à Aplicação

Asfaltos para Pavimentação

- Cimentos Asfálticos (CAP)
- Asfaltos Diluídos (AD)
- Emulsões Asfálticas (EA)
- Asfaltos Modificados (Asfaltos Polímeros)

Asfaltos Industriais

- Asfaltos Oxidados ou Soprados

1.6.3. Classificação quanto à Origem

Asfaltos naturais - Ocorrem em depressões da crosta terrestre, constituindo lagos de asfalto (Trinidad e Bermudas). Possuem de 60 a 80% de betume.

Rochas asfálticas - O asfalto aparece impregnando os poros de algumas rochas (Gilsonita) e também misturado com impurezas minerais (areias e argilas) em quantidades variáveis.

Asfaltos de petróleo - Mais empregado e produzido, sendo isento de impurezas. Pode ser encontrado e produzido nos seguintes estados:

- Sólido
- Semi-sólido
- Líquido: Asfalto dissolvido e Asfalto emulsificado

Alcatrão - Proveniente do refino do alcatrão bruto, que se origina da destilação dos carvões durante a fabricação de gás e coque. Estão em desuso no Brasil a mais de 25 anos.

1.6.4. Asfaltos para Pavimentação

1.6.4.1 Cimento Asfáltico do Petróleo (CAP)

O CAP é por definição um material adesivo termoplástico, impermeável à água, viscoelástico e pouco reativo, ou seja:

- Termoplástico: possibilita manuseio a quente. Após resfriamento retorna a condição de viscoelasticidade;
- Impermeável: evita a penetração de água (chuva) na estrutura do pavimento, forçando o escoamento para os dispositivos de drenagem;
- Viscoelástico: Combina o comportamento elástico (sob aplicação de carga curta) e o viscoso (sob longos tempos de aplicação de carga);
- Pouco reativo: Quimicamente, apenas o contato com o ar propicia oxidação lenta, mas que pode ser acelerado pelo aumento da temperatura.

a) Obtenção

Atualmente a obtenção do asfalto é feita através de refinação (refinamento) do petróleo. A quantidade de asfalto contida num petróleo pode variar de 10 a 70%.

O processo de refinamento depende do tipo e rendimento em asfalto que o mesmo apresenta. Se o rendimento for alto, apenas é utilizada a destinação a vácuo. Se o rendimento em asfalto for médio, usa-se a destilação atmosférica e destilação a vácuo.

A produção do CAP depende do tipo de petróleo. A composição do petróleo varia em relação aos teores de frações destiláveis e resíduo. Portanto a composição do CAP depende do tipo e processo de refino do petróleo e estes são de base naftênica e intermediária (LEITE, 2003).

b) Classificação

Os cimentos asfálticos de petróleo podem ser classificados segundo a viscosidade e a

penetração. A viscosidade dinâmica ou absoluta indica a consistência do asfalto e a penetração indica a medida que uma agulha padronizada penetra em uma amostra em décimos de milímetro. No ensaio penetração se a agulha penetrar menos de 10 dmm o asfalto é considerado sólido. Se penetrar mais de 10 dmm é considerado semi-sólido.

A Resolução ANP N° 19, de 11 de julho de 2005 estabeleceu as novas Especificações Brasileiras dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) definindo que a classificação dos asfaltos se dará exclusivamente pela Penetração. Os quatro tipos disponíveis comercialmente são os seguintes: *CAP 30/45, CAP 50/70, CAP 85/100 e CAP 150/200.*

c) Aplicações

Deve ser livre de água, homogêneo em suas características e conhecer a curva viscosidade-temperatura.

Para utilização em pré-misturados, areia-asfalto e concreto asfáltico deve-se usar: CAP 30/45, 50/70 e 85/100. Para tratamentos superficiais e macadame betuminoso deve-se usar CAP150/200.

d) Restrições

Não podem ser usados acima de 177° C, para evitar possível craqueamento térmico do ligante. Também não devem ser aplicados em dias de chuva, em temperaturas inferiores a 10° C e sobre superfícies molhadas.

e) Especificações

A seguir são mostradas as especificações atuais para os cimentos asfálticos produzidos no Brasil segundo a classificação por penetração.

Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) Classificação por Penetração

| CARACTERÍSTICAS | UNIDADES | LIMITES | | | | MÉTODOS | |
|--|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------|-------|
| | | CAP 30-45 | CAP 50-70 | CAP 85-100 | CAP150-200 | ABNT | ASTM |
| Penetração (100 g, 5s, 25°C) | 0,1mm | 30 - 45 | 50 - 70 | 85 - 100 | 150 - 200 | NBR 6576 | D 5 |
| Ponto de amolecimento, mín | °C | 52 | 46 | 43 | 37 | NBR 6560 | D 36 |
| Viscosidade Saybolt Furoí | s | | | | | NBR 14950 | E 102 |
| 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 | | | | | NBR 15184 | D4402 |
| 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 | NBR 11341 | D 92 |
| Solubilidade em tricloroetileno, mín | % massa | 99,5 | 99,5 | 99,5 | 99,5 | NBR 14855 | D2042 |
| Ductilidade a 25° C, mín | cm | 60 | 60 | 100 | 100 | NBR 6293 | D 113 |
| Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min | | D 2372 | | | | | |
| Varição em massa, máx (2) | % massa | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | | |
| Ductilidade a 25° C, mín | cm | 10 | 20 | 50 | 50 | NBR 6293 | D 113 |
| Aumento do ponto de amolecimento, máx | °C | 8 | 8 | 8 | 8 | NBR 6560 | D 36 |
| Penetração retida, mín (3) | % | 60 | 55 | 55 | 50 | NBR 6576 | D 5 |

1.6.4.2. Asfaltos Diluídos

Também conhecidos como Asfaltos Recortados ou “Cut Backs”. Resultam da diluição do cimento asfáltico por destilados leves de petróleo. Os diluentes funcionam como veículos proporcionando produtos menos viscosos que podem ser aplicados a temperaturas mais baixas que o CAP.

a) Obtenção

Os asfaltos diluídos são obtidos por meio de uma proporção entre CAP e diluente, feita

em um misturador específico, seguindo o seguinte esquema:

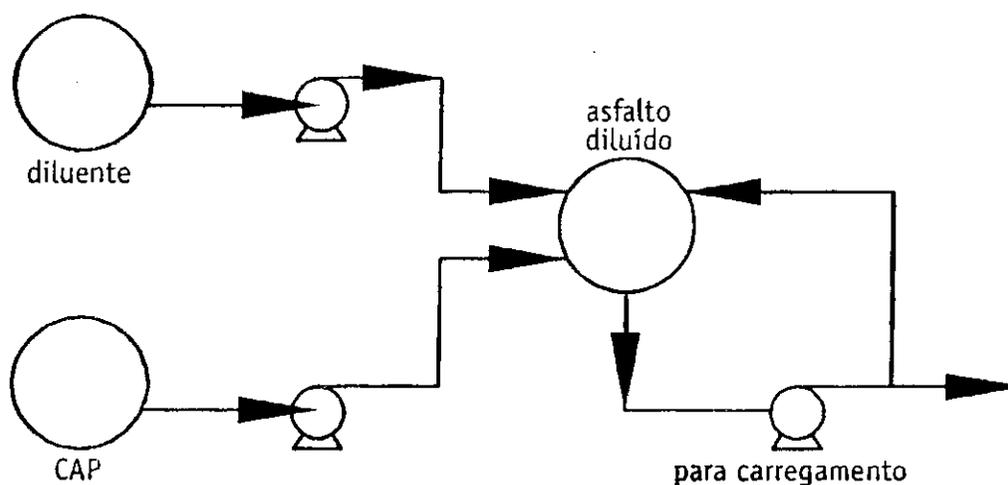


Figura 18 – Esquema de Produção do Asfalto Diluído

b) Classificação

Os diluentes evaporam-se após a aplicação e o tempo necessário para evaporar chama-se “Cura”. De acordo com a cura, podem ser classificados em:

CR → Cura Rápida → Solvente: Gasolina

CM → Cura Média → Solvente: Querosene

CL → Cura Lenta → Solvente: Gasóleo (não se usa mais)

Cada categoria apresenta vários tipos com diferentes valores viscosidade cinemática, determinada em função da quantidade de diluente:

CR-70; CR-250; CR-800; CR-3000

CM-30; CM-70; CM-250; CM-800; CM-3000

A quantidade média de CAP e diluente é a seguinte:

| Tipo CM | Tipo CR | % CAP | % Diluente | Nomenclatura | Antiga |
|---------|---------|-------|------------|--------------|--------|
| CM-30 | - | 52 | 48 | MC-0 | RC-0 |
| CM-70 | CR-70 | 63 | 37 | MC-1 | RC-1 |
| CM-250 | CR-250 | 70 | 30 | MC-2 | RC-2 |
| CM-800 | CR-800 | 82 | 18 | MC-4 | RC-4 |
| CM-3000 | CR-3000 | 86 | 14 | MC-5 | RC-5 |

1.6.4.3. Emulsões Asfálticas

É um sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa

(direta) ou de uma fase aquosa em uma fase asfáltica (inversa): CAP + Água + Agente Emulsivo.

a) Obtenção

A emulsão asfáltica é conseguida mediante a colocação de CAP + Água + Agente Emulsivo (Emulsificante ou Emulsificador) em um moinho coloidal, onde é conseguida a dispersão da fase asfáltica na fase aquosa através da aplicação de energia mecânica (trituração do CAP) e Térmica (aquecimento do CAP para torná-lo fluido).

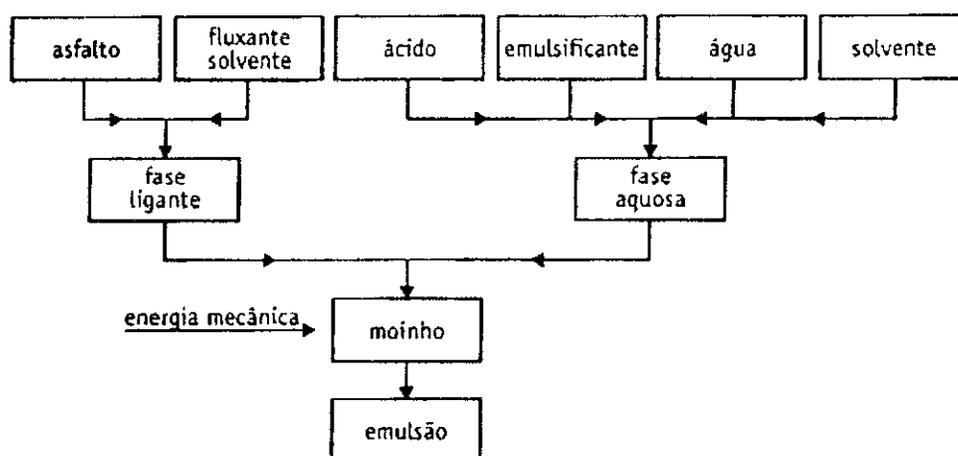


Figura 19 – Esquema de Produção de Emulsão Asfáltica

A quantidade de asfalto é da ordem de 60 a 70% e o tamanho das partículas de asfalto dispersas varia de 1 a 10 micras.

b) Classificação

| Quanto à carga da partícula | Quanto ao tempo de ruptura |
|-----------------------------|----------------------------|
| - Catiônicas | - Ruptura Rápida |
| - Aniônicas | - Ruptura Média |
| - Bi-iônicas | - Ruptura Lenta |
| - Não-iônicas | |

A ruptura das emulsões ocorre quando são colocadas em contato com agregados e o equilíbrio que mantinha os glóbulos do asfalto em suspensão na água é rompido. A água evapora e o asfalto floclula se fixando no agregado.

A cor das emulsões antes da ruptura é marrom, tornando-se depois preta. O tempo de ruptura depende da quantidade e tipo de agente emulsivo. As emulsões asfálticas normalmente utilizadas em pavimentação são as catiônicas diretas, sendo classificadas quanto a utilização em: RR-1C; RR-2C; RM-1C; RM-2C; RL-1C; LA-1C; LA-2C

Esta classificação depende da viscosidade Saybolt Furol, teor de solvente, desemulsibilidade e resíduo de destilação.

1.6.4.4. Asfaltos Modificados (Asfaltos Polímeros)

São obtidos a partir da dispersão do CAP com polímero, em unidade apropriada. Os polímeros mais utilizados são: SBS (Copolímero de Estireno Butadieno); SBR (Borracha de Butadieno Estireno); EVA (Copolímero de Etileno Acetato de Vinila); EPDM (Tetrapolímero Etileno Propileno Diesso); APP (Polipropileno Atático); Polipropileno; Borracha vulcanizada; Resinas; Epóx; Poliuretanas; etc.

Os polímeros aceleram o comportamento reológico do asfalto conferindo elasticidade e melhorando suas propriedades mecânicas. Suas principais vantagens:

- Diminuição da suscetibilidade térmica;
- Melhor característica adesiva e coesiva;
- Maior resistência ao envelhecimento;
- Elevação do ponto de amolecimento;
- Alta elasticidade;
- Maior resistência à deformação permanente;
- Melhores características de fadiga.

1.6.5. Asfaltos Industriais

Asfaltos Oxidados ou Soprados

São asfaltos aquecidos e submetidos a ação de uma corrente de ar com o objetivo de modificar suas características normais, a fim de adaptá-los para aplicações especiais. São usados geralmente para fins industriais como impermeabilizantes.

1.6.6. Principais Funções do Asfalto na Pavimentação

- a) **Aglutinadora** - Proporciona íntima ligação entre agregados, resistindo à ação mecânica de desagregação produzida pelas cargas dos veículos.
- b) **Impermeabilizadora** - Garante ao revestimento vedação eficaz contra penetração da água proveniente da precipitação.
- c) **Flexibilidade** - Permite ao revestimento sua acomodação sem fissuramento a eventuais recalques das camadas subjacentes do pavimento.

1.6.7. Serviços de Imprimação / Pintura de Ligação

1.6.7.1. Imprimação

Também chamada de Imprimadura ou Prime-Coat. Consiste na aplicação de uma camada de material asfáltico sobre a superfície de uma base concluída, antes da execução de um revestimento asfáltico qualquer. (DNER - ESP.14/71).

a) Funções da Imprimação

- i) Promover condições de ligação e aderência entre a base e o revestimento;
- ii) Impermeabilização da base;
- iii) Aumentar a coesão da superfície da base pela penetração do material asfáltico (de 0,5 a 1,0cm).

b) Tipos de Asfaltos Utilizados na Imprimação

São utilizados asfaltos diluídos de baixa viscosidade, a fim de permitir a penetração do ligante nos vazios da base. São indicados os asfaltos diluídos tipo CM-30 e CM-70.

c) Execução da Imprimação

Varredura da Pista

São utilizadas vassouras mecânicas rotativas ou vassouras comuns, com finalidade de fazer a limpeza da pista retirando os materiais finos que ocupam os vazios do solo. Também pode ser usado o jato de ar comprimido.

Quando a base estiver muito seca e poeirenta pode-se umedecer ligeiramente antes da distribuição do ligante.

Aplicação do Asfalto

Feita por meio do caminhão espargidor de asfalto (Figura 27), que é um caminhão tanque equipado com barra espargidora e caneta distribuidora, bomba reguladora de pressão, tacômetro e conta giro da bamba de ligante. A quantidade de material aplicado é da ordem de 0,7 a 1,0 l/m².

A temperatura de aplicação do material betuminoso é fixada para cada tipo de ligante em função da viscosidade desejada. As faixas de viscosidade recomendadas são de 20 a 60 segundos Saybolt Furol.

Deve-se evitar a formação de poças de ligantes na superfície da base, pois o excesso de ligante retardará a cura do asfalto prejudicando ao revestimento.

Nos locais onde houver falha de imprimação o revestimento tenderá a se deslocar. O complemento dos trechos onde ocorreram falhas é feito pela caneta distribuidora.

Antes do início da distribuição do material betuminoso os bicos devem ser checados e verificar se todos estão abertos e funcionando.

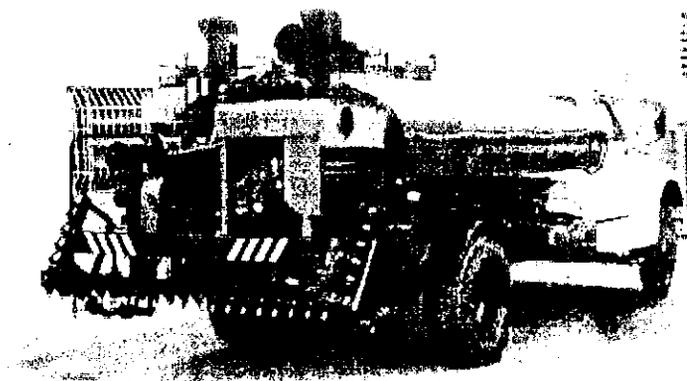


Figura 26 – Exemplo de Caminhão Espargidor

Controles de Execução

O controle de quantidade de ligante aplicada é uma atividade de muita importância, pois a quantidade requerida de ligante é atingida através da compatibilização entre a velocidade do caminhão e a velocidade da bomba para se espargir o asfalto. O controle de quantidade aplicada na pista é feita de 2 maneiras.

Controle com régua - Mede-se através de uma régua graduada colocada dentro do tanque de asfalto a quantidade gasta de ligante para executar um determinado trecho, obtendo-se a taxa em litros em l/m^2 .

Controle da bandeja ou folha de papel - Coloca-se uma bandeja ou folha de papel (área conhecida) sobre a superfície a ser imprimada. Após a passagem do espargidor recolhe-se a bandeja (ou papel) e determina-se a quantidade de ligante distribuída através da diferença de peso antes e depois da passagem do caminhão.

O controle da uniformidade da distribuição é um controle visual onde é observado se não houve nenhuma falha na distribuição do ligante detectando pontos onde houve excesso ou falta de ligante na superfície. O excesso deve ser eliminado através do recolhimento e as falhas devem ser preenchidas através da caneta distribuidora ou “regador”.

1.6.7.2. Pintura de Ligação

Também chamada de Tack-Coat. Consiste na aplicação de uma camada de material asfáltico sobre a base ou revestimento antigo com a finalidade de promover sua ligação com a camada sobrejacente a ser executada.



Figura 27 - Pintura de Ligação em Restauração

a) Tipos de asfaltos utilizados na pintura de ligação

- Emulsões asfálticas dos tipos:

Ruptura rápida: RR-1C e RR-2C

Ruptura média: RM-1C e Rm-2C

- Asfaltos diluídos: CR-70 (exceto para superfícies betuminosas)

b) Execução da pintura de ligação

Aplicação do asfalto

Também é feita pelo caminhão espargidor. A quantidade de material aplicado é da ordem de 0,5 l/m². A temperatura de aplicação é função da viscosidade desejada e deve permitir a formação de uma película extremamente delgada acima da camada a ser recoberta. As faixas de viscosidade recomendadas são as seguintes:

- Para asfalto diluído: 20 a 60 segundos saybolt-furol.
- Para emulsões: 25 a 100 segundos saybolt-furol.

O excesso de ligante pode atuar como lubrificante ocasionando ondulações do revestimento a ser colocado.

Controles de execução

- Controle da quantidade: Pelo processo da régua ou bandeja (idem imprimação);
- Controle da uniformidade: (idem imprimação).

1.7. Revestimentos

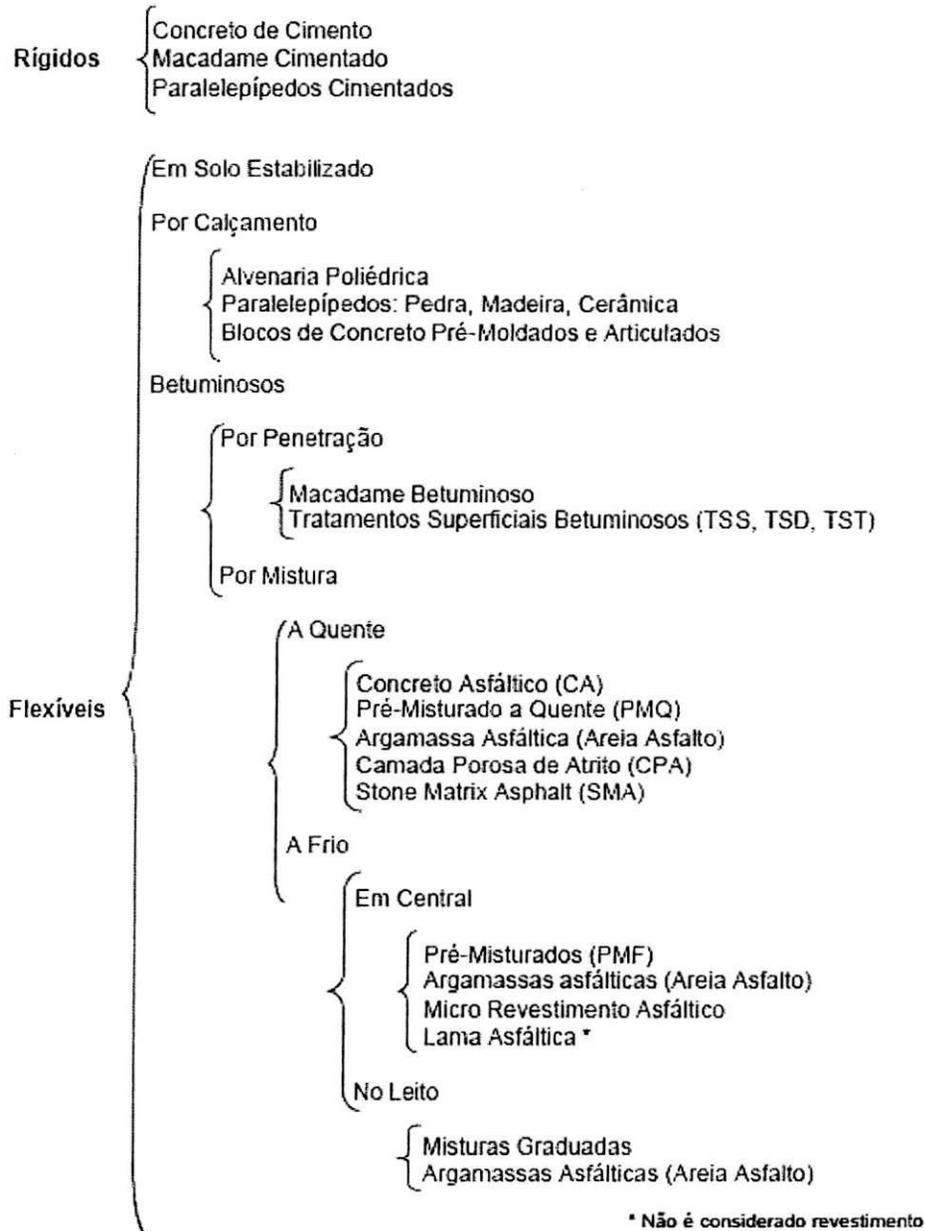
Revestimento é a camada do pavimento destinada a receber diretamente a ação do tráfego, devendo ser, tanto quanto possível, impermeável, resistente ao desgaste e suave ao rolamento. Também chamada CAPA ou camada de desgaste.

1.7.1. Principais Funções

- Melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto;
- Resistir às cargas horizontais, tornando a superfície de rolamento mais durável. As cargas horizontais são ocasionadas pela frenagem e aceleração;
- Tornar o conjunto impermeável, mantendo a estabilidade.

1.7.2. Terminologia dos Revestimentos

Os revestimentos podem ser agrupados de acordo com o seguinte esquema:



1.7.2.1. Concreto de Cimento

Mistura de cimento Portland, agregado graúdo, areia e água devidamente adensado e espalhado formando placas de concreto, separadas por juntas de dilatação. Funcionam como base e revestimento.

1.7.2.2. Em Solo Estabilizado

É o chamado revestimento primário. Após a terraplenagem é colocado um material com determinada composição granulométrica, comumente denominado “saibro” ou “cascalho”, e que apresenta alguma plasticidade através da relação fino-grosso. Adiciona-se água e procede-se à compactação. É dito estabilizado porque a granulometria deve ser estudada de modo a proporcionar resistência à estrada. Novos “cascalhamentos” podem ser executados, por cima do revestimento antigo. É muito comum o uso em estradas vicinais, estradas de fazendas e pequenos acessos rurais. Também podem ser adicionados sais minerais e resinas, como nas bases estabilizadas.

1.7.2.3. Revestimento de Alvenaria Poliédrica / Paralelepípedos

O Pavimento de Alvenaria Poliédrica consiste de um revestimento de pedras irregulares/paralelepípedos, assentadas por processo manual, rejuntadas com areia, betume e assentes sobre um colchão de areia ou de solo estabilizado.

1.7.2.4. Blocos de Concreto Pré-Moldados e Articulados

Consiste de revestimento de blocos de pré-moldados (bloquetes), assentados por processo manual, rejuntados com areia ou betume, assentes sobre o colchão de areia ou pó de pedra ou sub-base de solo estabilizado.

1.7.2.5. Macadame Betuminoso

São os revestimentos betuminosos por penetração direta que consiste no espalhamento e compressão de uma camada de brita de granulometria apropriada seguida de aplicação do material betuminoso. O material betuminoso penetra nos vazios do agregado e um novo espalhamento de brita é feito, para preenchimento dos vazios superficiais, seguido de nova compressão.

1.7.2.6. Tratamentos Superficiais

São os revestimentos betuminosos por penetração invertida com aplicação de material

betuminoso seguida de espalhamento e compressão de agregado de granulometria apropriada. Sua espessura é aproximadamente igual ao diâmetro do agregado empregado. Pode ser executado com os objetivos de impermeabilização, modificar a textura de um revestimento existente ou como revestimento final de um pavimento. Quando a operação executiva do tratamento simples é repetida duas ou três vezes, resultam os chamados tratamentos superficiais duplos e triplos.

1.7.2.7. Concreto Asfáltico (CBUQ)

É um revestimento flexível, resultante da mistura a quente, em usina apropriada, de agregado mineral graduado, material de enchimento (fíler) e material betuminoso espalhado e comprimido a quente. Durante o processo de construção e dimensionamento, são feitas rigorosas exigências no que diz respeito aos equipamentos, granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios etc. É considerado um revestimento nobre.

1.7.2.8. Pré-Misturado à Quente (PMQ)

Consiste na mistura íntima, devidamente dosada, de material betuminoso e agregado mineral em usina e na compressão do produto final, à quente, por equipamento apropriado.

Quando os pré-misturados são executados em usinas têm-se os “plant mixer” e quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quente têm-se os “hot mix” ou “hot laid”.

1.7.2.9. Areia Asfalto à Quente

Consiste na mistura de areia com um produto betuminoso obtido em usinas fixas. A areia utilizada, normalmente é a passante na # 10 (2mm), embora 2 ou 3 areias possam ser misturadas para se obter a granulometria desejada. Pode ser executada em duas camadas. Apresenta o inconveniente de produzir uma superfície lisa e macia, ocasionando problemas de escorregamento. Pode-se usar pedrisco para tornar a superfície mais áspera.

1.7.2.10. Camada Porosa de Atrito (CPA)

Camada de macrotextura aberta com elevada capacidade de drenagem através de uma

estrutura de alto índice de vazios (18 – 25%). Suas principais vantagens são:

- Redução dos riscos de aquaplanagem;
- Redução das distâncias de frenagem sob chuva;
- Aumento de distância de visibilidade. E diminuição da cortina de água (spray);
- Menor reflexão luminosa;
- Maior percepção de sinalização vertical durante a noite;
- Redução dos níveis de “Stress” do usuário.

1.7.2.11. Stone Matrix Asphalt (SMA)

Revestimento caracterizado por elevada % de agregados graúdos, que formam uma estrutura descontínua semelhante a uma parede de pedra de elevado atrito interno. Os vazios do esqueleto mineral são preenchidos com ligante modificado por polímeros, fíler mineral e fibras orgânicas. Suas principais vantagens são:

- Melhoria das condições mecânicas do pavimento: Resistência à deformação, fissuração e desgaste;
- Melhoria das características funcionais como resistência à derrapagem, redução do spray e reflexão de luz.

1.7.2.12. Pré-Misturado a Frio

É o produto obtido da mistura de agregado mineral e emulsão asfáltica ou asfalto diluído, em equipamento apropriado, sendo a mistura espalhada e comprimida a frio.

Os agregados também não são aquecidos. A mistura obedece a métodos de dimensionamento próprios e são produzidos em usinas simplificadas, sem a existência de secadores, ou através do uso de betoneiras.

Neste tipo de mistura é permitida a estocagem durante certo período de tempo. Muito utilizado em serviços de conservação, mas também pode ser usado como revestimento final, porém com qualidade inferior. Podem ser designados pelo nome de “cold laid”. Dependendo da granulometria, pode ter as designações: pré-misturado a frio denso ou aberto.

1.7.2.13. Areia Asfalto a Frio

É a mistura de asfalto diluído ou emulsão asfáltica e agregado miúdo, na presença ou

não de material de enchimento, em equipamento apropriado. O produto é espalhado e comprimido a frio.

1.7.2.14. Lama Asfáltica (não é Considerada Revestimento)

É uma associação (mistura), em consistência fluida, de agregados ou misturas de agregados miúdos, fíler (ou material de enchimento) e emulsão asfáltica, devidamente espalhada e nivelada.

É geralmente empregada no rejuvenescimento de pavimentos asfálticos (pavimentos desgastados) ou como camada de desgaste e impermeabilizante nos tratamentos superficiais ou macadame betuminoso. Por apresentar condições de elevada resistência à derrapagem, devido a seu alto coeficiente de atrito, é também empregada na correção de trechos lisos e derrapantes.

A espessura final é da ordem de 4mm e a compactação é executada pelo próprio tráfego.

A lama asfáltica não é considerada um revestimento propriamente dito e sim um ótimo processo para preservar e manter revestimentos betuminosos.

1.7.2.15. Misturas Graduadas

Consiste em mistura, na própria pista, de agregado de granulometria determinada com um produto betuminoso líquido. São usados asfaltos diluídos ou emulsão. Por serem feitos no próprio leito são também chamados de pré-misturados na pista ou “Road- Mixer”.

1.7.2.16. Areia Asfalto no Leito

Similar às misturas graduadas, porém usando-se apenas o agregado miúdo (areia) e o material betuminoso (asfalto diluído ou emulsão).

1.7.3. Revestimentos Flexíveis por Penetração

1.7.3.1. Tratamento Superficial Simples

É uma camada de rolamento constituída de material betuminoso e agregado na qual o agregado é colocado uniformemente sobre o material betuminoso, aplicado numa só camada.

A penetração do asfalto é de baixo para cima. A espessura final é aproximadamente igual ao diâmetro máximo do agregado. (máx. 38mm; mais comum: 25mm).

Utilização: - Melhorar condições de um pavimento existente;

- Camada de rolamento;
- Rejuvenescer e enriquecer um pavimento antigo ressecado e gasto.

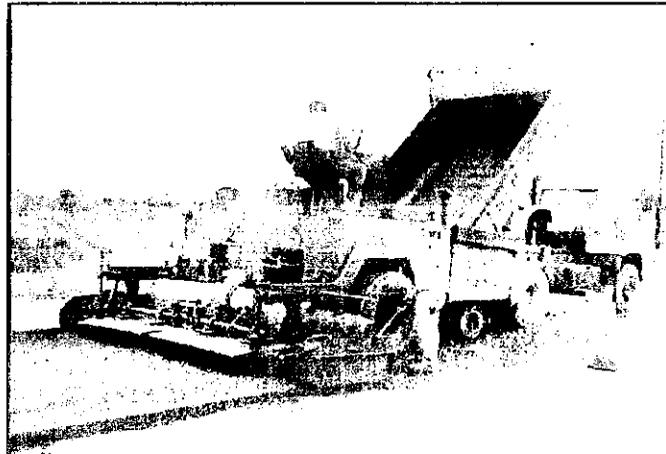


Figura 20 – Espalhamento do Material

Os materiais betuminosos mais empregados são:

- ✓ Cimento asfáltico do petróleo: tipo CAP-7 e CAP-150/200.
- ✓ Asfalto diluído: tipo CR-250.
- ✓ Emulsão asfáltica: RR-2C.

As temperaturas da aplicação dependem dos tipos de ligante e são fixadas em função da viscosidade.

a) Equipamentos Utilizados

1- Distribuidor de Betume sob Pressão

São veículos equipados com tanques para depósito de material betuminoso. Estes tanques são providos de condutores, termômetros, anteparos de circulação, porta de visita, tubo de ladrão.

As funções de bomba são: Encher o tanque; circular material na barra espargidora e tanque; espalhar material através da barra espargidora e espalhador manual; conduzir material da barra espargidora para o tanque e bombear o material do tanque para o recipiente de armazenamento.

2 - Espalhador de Agregados

O espalhamento dos agregados poderá ser feito de várias maneiras:

- Através da portinhola traseira do caminhão basculante;
- Espalhador giratório;
- Espalhador mecânico (Spreader);
- Espalhador de agregado auto propulsor.

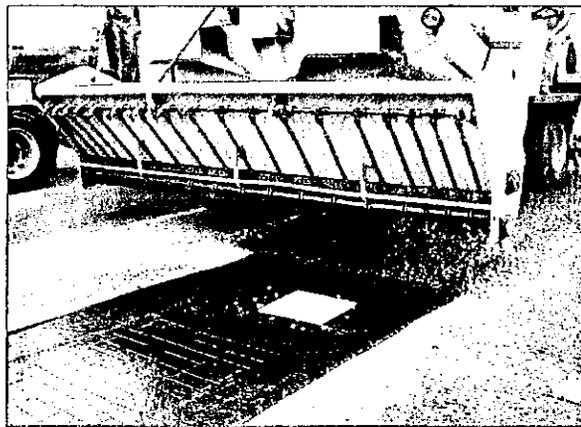


Figura 21 – Espalhamento do Agregado

3- Rolos Compressores

Preferência para rolos pneumáticos. Os rolos tandem liso normalmente são evitados, pois as rodas lisas formam espécie de ponte sobre as partículas maiores causando pequenas depressões. Podem esmagar partículas maiores causando deterioração do revestimento.

A compactação deve ser feita até se garantir a retenção do agregado no material betuminoso. Deve ser paralisada quando houver esmagamento.



Figura 22 - Compactação

b) Sequência Construtiva

- Preparo da pista;
- Aplicação do ligante betuminoso;
- Espalhamento do agregado;
- Compressão;
- Varredura por arrasto final.

c) Abertura do Tráfego

Quando for usado asfalto diluído deve-se jogar agregado fino sobre a superfície ($\pm 24h$). Quando for usado CAP o tráfego pode ser aberto logo após o espalhamento do agregado, porém com tráfego controlado.

Para abrir tráfego junto com a compactação a velocidade máxima é de 10 km/h e após

- Uniformidade de aplicação;
- Controle geométrico.

1.7.3.2. Tratamento Superficial Duplo

Consiste de duas aplicações sucessivas de material betuminoso sobre uma base previamente preparada, cobertas, cada uma, por agregado mineral.

As propriedades dos ligantes e agregados, os equipamentos assim como os controles são os mesmos indicados para o Tratamento Superficial Simples.

a) Seqüência Construtiva

- ✓ Primeira aplicação de ligante
- ✓ Primeira aplicação de agregado
- ✓ Primeira compactação e varredura por arrasto
- ✓ Segunda aplicação de ligante
- ✓ Segunda aplicação de agregado
- ✓ Compactação e varredura por arrasto final

b) Especificações (DNER)

- ✓ Granulometria: específica para 1ª e 2ª camadas
- ✓ Ligantes: 1ª camada: 1,3l/m² ; 2ª camada 1,0 l/m²
- ✓ Agregado: 1ª camada: 25 kg/m² ; 2ª camada: 12 kg/m².

1.7.3.3. Tratamento Superficial Triplo

Camada de rolamento composta de material betuminoso e agregado na qual o agregado graúdo é aplicado uniformemente sobre uma aplicação inicial de material betuminoso e seguido de duas aplicações subseqüentes de material betuminoso cobertas respectivamente por agregados médios e miúdos.

a) Especificações (DNER)

- ✓ Granulometria: especificar para 1ª, 2ª, e 3ª camada.

- ✓ Ligantes: 1ª camada: 1,5 l/m² ; 2ª camada: 1,5 l/m² ; 3ª camada: 0,5 l/m² .
- ✓ Agregados: 1ª camada: 36 kg/m² ; 2ª camada: 16 kg/m² ; 3ª camada: 7 kg/m²

1.7.3.4. Macadame Betuminoso por Penetração Direta.

Consiste em duas aplicações alternadas de ligantes betuminoso sobre agregados de tamanhos e quantidades especificados, devidamente espalhados, nivelados e compactados.

a) Materiais Empregados

- ✓ Material betuminoso: CAP-7; CAP 150/200.
- ✓ Emulsão asfáltica: RR-1C e RR2C
- ✓ Agregados: Pedra britada, cascalho ou seixo rolado.

b) Equipamentos para Execução

- ✓ Idem dos Tratamentos Superficiais

c) Seqüência Construtiva

- ✓ Preparo da pista: pista nivelada, base pronta, imprimada e varrida;
- ✓ Espalhamento do agregado graúdo: Recomenda-se o espalhador mecânico completado as falhas manualmente;
- ✓ 1ª Compressão: apenas do agregado espalhado;
- ✓ 1ª Aplicação de material betuminoso;
- ✓ Espalhamento do agregado médio;
- ✓ 2ª compressão;
- ✓ 2ª Aplicação de material betuminoso;
- ✓ Espalhamento de agregado miúdo;
- ✓ 3ª Compressão.

d) Especificações

As quantidades de material em geral são da ordem de:

- Material betuminoso: $\pm 1,0 \text{ l/m}^2$ por centímetro de espessura.
- Agregado mineral: Esp. de 2,5 cm : $\pm 30 \text{ l/m}^2$
Esp. de 7,5 cm : $\pm 90 \text{ l/m}^2$

e) Controles

Os controles tecnológicos empregados são os seguintes:

- ✓ Qualidade do material betuminoso: Ensaio de viscosidade, ponto de fulgor, etc;
- ✓ Qualidade dos agregados: Granulometria, Los Angeles, durabilidade;
- ✓ Temperatura de aplicação do ligante: verificado no caminhão;
- ✓ Quantidade de ligante: Régua graduada ou bandeja;
- ✓ Quantidade de agregado;
- ✓ Uniformidade de aplicação.

Os controles geométricos são os seguintes: $\pm 10\%$ de variação da espessura de projeto para pontos isolados

1.7.4. Revestimentos Flexíveis por Mistura

As misturas asfálticas são tradicionalmente classificadas em:

- a) Misturas a quente: realizadas com CAP ou CAN, que são produtos semi-sólidos na temperatura ambiente, sendo confeccionadas, espalhadas e compactadas em temperaturas bem acima da ambiente ($T > 90^\circ\text{C}$). Os agregados também são aquecidos.
- b) Misturas a frio: São aquelas realizadas com asfaltos liquefeitos (Emulsão asfálticas e asfaltos diluídos) que podem ser ligeiramente aquecidos ($T \gg 50^\circ\text{C}$). Os agregados normalmente não são aquecidos e a mistura é sempre espalhada e compactada à temperatura ambiente.

As principais vantagens e desvantagens das misturas a quente e a frio podem ser assim resumidas:

| | | | |
|--------------------------|--|------------------------|---|
| Misturas a Quente | Vantagens | Misturas a Frio | Vantagens |
| | Desvantagens | | Desvantagens |
| | <ul style="list-style-type: none"> - mais duráveis - menos sensíveis a ação da água - apresentam envelhecimento lento - suportam bem o tráfego pesado - não exigem cura | | <ul style="list-style-type: none"> - não se aquece o agregado - permitem estocagem - simplicidade de instalação - baixo custo de fabricação - simplicidade no processo construtivo |
| | <ul style="list-style-type: none"> - difícil fabricação - exigem aquecimento do agregado - alto custo de fabricação - equipamento especial no processo construtivo - não permitem estocagem | | <ul style="list-style-type: none"> - maior desgaste - envelhecimento mais rápido - exigem cura da mistura |

1.7.4.1. Pré-Misturado a Quente (PMQ)

São as misturas asfálticas constituídas por agregados e argamassa asfáltica. Se forem preparados com especificações mais exigentes recebem o nome de concreto asfáltico (CBUQ).

Se as características desta mistura forem menos nobres recebem o nome de pré-misturado a quente (PMQ).

Não confundir Concreto Betuminoso mal executado com PMQ. O PMQ é um CBUQ sem controle, de características menos nobres.

1.7.4.2. Argamassas Asfálticas

São as misturas asfálticas constituídas de agregado miúdo, material betuminoso (CAP), podendo ou não ter o filer.

Areia-Asfalto a Quente

Consiste na mistura, a quente, em usina apropriada de agregado miúdo, cimento asfáltico, com presença ou não de material de enchimento (fíler). O espalhamento e compressão são feitos a quente.

Os materiais normalmente empregados são:

- Material betuminoso: CAP 20 ou CAP 40;
- Agregado miúdo: areia ou pó de pedra, ou mistura;

- Fíler: materiais minerais não plásticos e inertes: cimento, pó calcário, cal extinta.

O projeto de mistura é feito através do Método Marshall ou Hubbard Field. Quando a mistura tem a presença de fíler, pode ser chamada de Sheet Asphalt, quando não tem material de enchimento na sua constituição é normalmente chama de areia-asfalto.

A espessura final após compactação não deve ultrapassar 5 cm, sendo normalmente utilizada como revestimento ou como camada de regularização ou nivelamento. As especificações indicam três faixas granulométricas. Duas ou mais areias podem ser misturadas para se obter a granulometria desejada.

O processo construtivo é idêntico ao do CBUQ, podendo ser distribuídas em duas camadas, e os controles também são os mesmos.

1.7.4.3. Pré-Misturado a Frio (PMF)

É a mistura preparada, em usina apropriada, com agregado mineral e ligante asfáltico liquefeito (geralmente emulsão asfáltica catiônica), espalhada e compactada na pista a temperatura ambiente, podendo ser usada em revestimento e base.

Pré-Misturado a Frio Aberto (PMFA)

É o PMF com pouca ou nenhuma quantidade de agregado miúdo e fíler. Depois de compactado apresenta grande teor de vazios. Pode ser designado pelo nome de Pré-Misturado Tipo Macadame, cuja composição da mistura pode ser enquadrada em seis faixas granulométricas. A especificação DNER-ES 106/80 trata deste tipo de mistura.

Pré-Misturado a Frio Semi-Denso (PMFsD)

É o PMF com média quantidade de agregado miúdo e fíler.

Pré-Misturado a Frio Denso (PMFD)

É o PMF com apreciável quantidade de agregado miúdo e fíler. Após compactado apresenta baixo teor de vazios.

Estes dois últimos tipos (mais fechados) são conseguidos através da escolha conveniente da faixa granulométrica de modo a aumentar ou diminuir o índice de vazios. A especificação DNER-ES 105/80 apresenta mais seis faixas granulométricas para a composição da mistura.

a) Materiais

- Agregado mineral: Mistura de materiais que atendam as especificações próprias, constituída de agregado graúdo, agregado miúdo e fíler.

- Ligante: normalmente são utilizadas Emulsões asfálticas do tipo: RL-1C, RM-1C e RM-2C. Em algumas situações pode ser usado Asfalto Diluído tipo CR-250 (para pré-misturados densos), porém a maioria das aplicações no Brasil é feita com Emulsões Asfálticas.

b) Dosagem

O método Marshall é o mais utilizado, sendo normalizado pelo DNER através do método de ensaio DNER-ME 107/80 (Ensaio Marshall para misturas betuminosas a frio com emulsão asfáltica).

c) Equipamentos

São utilizadas usinas tipo “pugmil” ou “multmix” ou betoneiras. Dispensam uso de secadores e apresentam dispositivo para umedecimento da mistura, Silos e Correias transportadoras.

Para espalhamento do mistura na pista podem ser usado acabadora automotriz, distribuidor de agregado ou motoniveladora (patrol).

Os compactadores mais utilizados são os rolos lisos tandem, pneumático e vibratório liso. O transporte é feito por caminhões basculante.

d) Processo Construtivo

A rolagem é feita após início da ruptura (ou cura) do ligante. É permitida a estocagem por certo período de tempo (depende do ligante). Em dias de chuva, pode-se produzir material.

O aspecto durante a confecção e espalhamento apresenta uma cor amarronzada, após a ruptura do ligante (emulsão) a coloração modifica-se para preto.

e) Controles de Execução (Similares ao CBUQ)

- Qualidade da emulsão: viscosidade, sedimentação, etc;

- Qualidade dos agregados: granulometria, Los Angeles, durabilidade, etc;
- Controle do teor de ligante: ensaio de extração;
- Controle da graduação da mistura: após ensaio extração do betume;
- Controle das características Marshall da mistura;
- Controle de compactação: corpo-de-prova extraído c/ sonda rotativa ou anéis de aço;
- Controle de espessura;
- Controle do acabamento.

1.7.4.4. Areia-Asfalto a Frio

Mistura de asfaltos diluídos ou emulsões asfálticas com agregado miúdo, na presença ou não de material de enchimento, em equipamento apropriado. O produto é espalhado e comprimido a frio. Aguardar 2 horas após espalhamento da massa na pista.

1.7.4.5. Lama-Asfáltica (não é Revestimento)

É uma associação (mistura) em consistência fluídica, de agregado ou misturas de agregados miúdos, fíler (material de enchimento) e emulsão asfáltica, (LA-1C, LA-2C) devidamente espalhada e nivelada.

a) Emprego

- Rejuvenescimento de pavimentos asfálticos: quando estes se encontrarem desgastados ou envelhecidos;
- Camada de desgaste e impermeabilizante: principalmente nos tratamentos superficiais ou macadames betuminosos;
- Correção de trechos lisos e derrapantes: devido às suas condições de elevada resistência à derrapagem, ou seja, apresenta um alto coeficiente de atrito.

b) Execução

- Em equipamento apropriado;
- Espalhamento direto da mistura sobre a superfície antiga;
- Espessura final em torno de 4mm;

- Não é necessário compactação, o próprio tráfego se encarrega desta atividade.

1.7.4.6. Misturas Graduadas

Consiste em mistura, na própria pista, de agregados de granulometria específica com um produto betuminoso líquido. São utilizados asfaltos diluídos ou emulsão asfáltica.

Processo Construtivo

- Preparo da base;
- Espalhamento do agregado;
- 1ª aplicação de agregado;
- Mistura (esparrame) com moto-niveladora, grade, fazendo eiras;
- Aplicação complementar de betume;
- Compactação;
- 2ª aplicação de agregado miúdo e betume;
- Podem-se usar máquinas móveis (pulvimix).

1.7.5. Revestimentos Flexíveis em Solo Estabilizado

São aqueles feitos logo após a terraplanagem, onde o material é lançado sobre um subleito regularizado, apresentando uma determinada granulometria, normalmente um saibro ou cascalho.

Processo Executivo

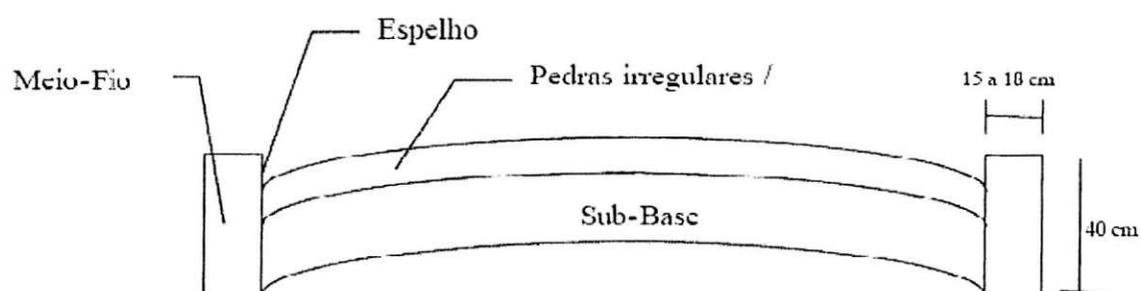
- Distribuição do material sobre a pista e espalhamento através de motoniveladora por toda a seção transversal;
- Pode ou não haver compactação;
- Também podem ser adicionados estabilizantes (sais minerais e resinas) como nas bases estabilizadas.

1.7.6. Revestimentos de Alvenaria Polidrica / Paralelepípedos

Consiste de um revestimento de pedras irregulares/Paralelepípedos, assentadas por

processo manual, rejuntadas com areia/betume e assentes sobre um colchão de areia ou sub-base de solo estabilizado.

a) Componentes



Guia: é uma peça prismática de rocha ou concreto, com seção retangular ou trapezoidal, destinada a limitar a pista pavimentada, proteger o calçamento e evitar o deslocamento dos poliedros e paralelepípedos.

Meio-fio: é o conjunto de guias assentadas e alinhadas ao longo das bordas da pista.

Espelho: é a parte do meio fio, na face livre, aproximadamente vertical, que constitui o ressalto entre o nível do pavimento e o da calçada ou passeio.

Cordão (tento): é a peça da rocha ou de concreto, com seção retangular ou trapezoidal, destinada a ser assentada com o piso coincidindo com a superfície dos poliedros e dos paralelepípedos, com a finalidade de proteger os bordos do pavimento ou amarrar determinadas seções do mesmo.

Pedras mestras: são os primeiros poliedros ou paralelepípedos assentados em alinhamentos paralelos ao eixo da pista, destinados a servir de guia para o assentamento dos demais.

b) Materiais

As pedras poliédricas terão uma face para rolamento, aproximadamente plana e que se inscreva em círculos de raios entre 5 e 10 cm e altura entre 10 e 15 cm. Os paralelepípedos deverão apresentar aproximadamente 10 x 20 x 15 .

Os meios-fios terão seções aproximadamente retangulares, com dimensões mínimas de 18 cm de piso, 40 cm de altura e 80 cm de comprimento quando reto e 60 cm de comprimento quando curvo e serão aparelhados no piso e no espelho.

Os cordões ou tendões terão seção aproximadamente retangular, com dimensões mínimas de 12 cm no piso, 30 cm na altura e 50 cm no comprimento e serão aparelhados no piso.

Se usar areia para o colchão, esta deverá ter partículas limpas, duras e duráveis, isentas de torrões de terra e de outras substâncias estranhas. Quando empregada uma sub-base estabilizada, esta deverá satisfazer as especificações para este tipo de serviço.

Para o rejuntamento pode ser usado cimento asfáltico de penetração 50-60.

c) Processo Construtivo

- Preparo do subleito: feito de acordo com as normas e especificações para regularização do subleito
- Execução dos meios-fios: deverá ser aberta uma vala para assentamento das guias, ao longo dos bordos do subleito preparado, obedecendo ao alinhamento, perfil e dimensões estabelecidas no projeto.
- Assentamento das pedras poliédricas /paralelepípedos: sobre o leito preparado será espalhada uma camada uniforme de areia ou pó de pedra, numa espessura máxima de 8cm, destinada a compensar as irregularidades e desuniformidades das pedras poliédricas e/ou paralelepípedos.

Blocos de Concreto Pré-Moldados e Articulados

Consiste do assentamento de blocos de concreto pré-moldado (bloquetes) através de processo manual, rejuntado com areia ou betume sobre colchão de areia ou pó de pedra ou sub-base de solo estabilizado.

Componentes e processo construtivo: idem ao anterior

Formato das peças (Bloquetes): retangulares, hexagonais, tipo macho e fêmea, de encaixe, etc.

1.8. Concreto Asfáltico

O concreto Asfáltico também chamado de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) é um revestimento flexível. A mistura é executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (fíler) quando necessário e ligante asfáltico (cimento asfáltico - CAP), espalhada e compactada a quente.

É a mistura de mais alta qualidade, em que um controle rígido na dosagem, mistura e execução deve atender a exigências de estabilidade, durabilidade, flexibilidade e resistência ao deslizamento preconizados pelas Normas Construtivas.

O produto resultante da mistura pode ser utilizado como revestimento (camada de rolamento), binder (camada de ligação entre as camadas de base e de rolamento), camada de base, regularização ou reforço (overlay) de pavimento existente.

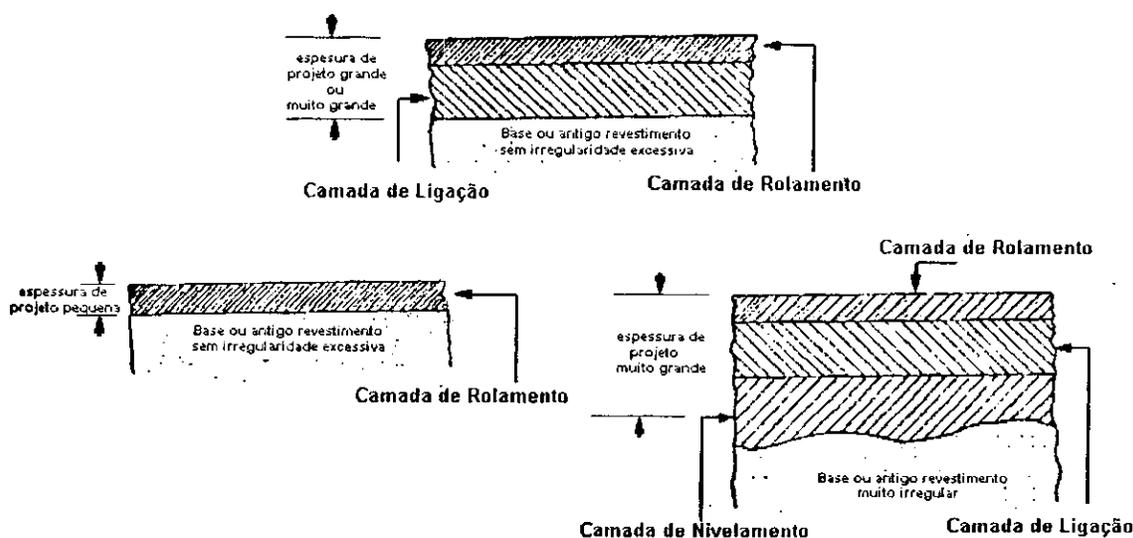


Figura 23 – Tipos de Utilização do Concreto Asfáltico

1.8.1. Materiais Constituintes do Concreto Asfáltico

- Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP):
 - 1) Classificação por penetração - 30/45, 50/60 ou 85/100;
 - 2) Classificação por viscosidade - CAP-20 ou CAP- 40.
- Agregado Graúdo

O agregado graúdo pode ser pedra britada, escória, seixo rolado preferencialmente britado ou outro material indicado nas Especificações Complementares.

- Os grãos são duráveis, livres de torrões de argila ou substâncias nocivas;
- O desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50% (DNER - ME 035);
- Índice de forma superior a 0,5 (DNER - ME 086);
- Durabilidade, perda inferior a 12% (DNER - ME 089);
- Boa adesividade entre o ligante asfáltico e o agregado (DNER - ME 078).

➤ Agregado Miúdo

O agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos ou outro material indicado nas Especificações Complementares.

- Suas partículas individuais devem ser resistentes, estando livres de torrões de argila e de substâncias nocivas;
- Deve apresentar equivalente de areia igual ou superior a 55% (DNER - ME 054);
- Boa adesividade entre o ligante asfáltico e o agregado (DNER - ME 079).

➤ Material de Enchimento (Fíler)

Quando da aplicação deve estar seco e isento de grumos, e deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, tais como cimento Portland, cal, pó-calcário, cinza volante, etc de acordo com a Norma DNER - EM 367 e apresentar um mínimo de 65% em peso passando na peneira 0,074 mm (#200).

Composição da Mistura

A composição do concreto asfáltico deve satisfazer os requisitos do Quadro 1 com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria (DNER - ME 083) e aos percentuais do ligante asfáltico determinados pelo projeto da mistura.

Quadro 1 - Faixas* e tolerância quanto a granulometria

| Peneira de malha quadrada | | % em massa, passando | | | |
|----------------------------------|------------------|---|---|--|-------------|
| Série ASTM | Abertura (mm) | A | B | C | Tolerâncias |
| 2" | 50,8 | 100 | - | - | - |
| 1 ½" | 38,1 | 95 - 100 | 100 | - | ± 7% |
| 1" | 25,4 | 75 - 100 | 95 - 100 | - | ± 7% |
| ¾" | 19,1 | 60 - 90 | 80 - 100 | 100 | ± 7% |
| ½" | 12,7 | - | - | 80 - 100 | ± 7% |
| 3/8" | 9,5 | 35 - 65 | 45 - 80 | 70 - 90 | ± 7% |
| N° 4 | 4,8 | 25 - 50 | 28 - 60 | 44 - 72 | ± 5% |
| N° 10 | 2,0 | 20 - 40 | 20 - 45 | 22 - 50 | ± 5% |
| N° 40 | 0,42 | 10 - 30 | 10 - 32 | 8 - 26 | ± 5% |
| N° 80 | 0,18 | 5 - 20 | 8 - 20 | 4 - 16 | ± 3% |
| N° 200 | 0,075 | 1 - 8 | 3 - 8 | 2 - 10 | ± 2% |
| Asfalto solúvel no CS2(*) (%) | | 4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder) | 4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento | 4,5 - 9,0 Camada de rolamento | ± 0,3% |

*A faixa usada deve ser aquela, cujo diâmetro máximo é inferior a 2/3 da espessura da camada.

As porcentagens de ligante se referem à mistura de agregados, considerada como 100%. Para todos os tipos a fração retida entre duas peneiras consecutivas não deve ser inferior a 4% do total. A mistura de agregados e ligante deve ser dosado pelo método Marshall observando os valores limites para as características especificadas no Quadro 2, como também as misturas devem atender às especificações da relação betume/vazios ou aos mínimos de vazios do agregado (Quadro 3).

Quadro 2 - Valores limites para as características especificadas

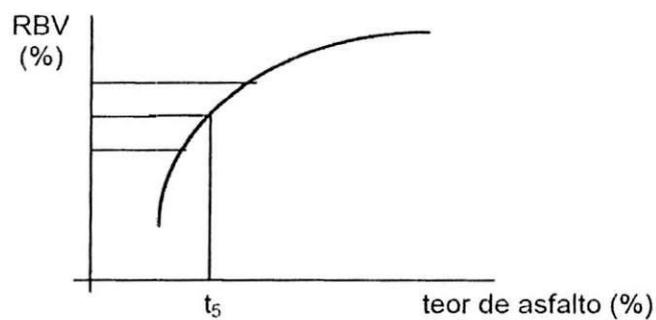
| Características | Método de ensaio | Camada de Rolamento | Camada de Ligação (Binder) |
|--|------------------|---------------------|----------------------------|
| Porcentagem de vazios, % | DNER-ME 043 | 3 a 5 | 4 a 6 |
| Relação betume/vazios | DNER-ME 043 | 75 - 82 | 65 - 72 |
| Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes) | DNER-ME 043 | 500 | 500 |
| Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa | DNER-ME 138 | 0,65 | 0,65 |

Quadro 3 - Mínimos de vazios do agregado mineral

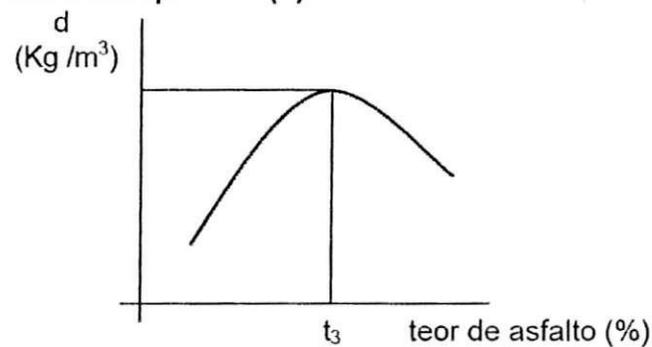
| VAM – Vazios do Agregado Mineral | | |
|------------------------------------|------|--------------|
| Tamanho Nominal Máximo do agregado | | VAM Mínimo % |
| # | m m | |
| 1½" | 38,1 | 13 |
| 1" | 25,4 | 14 |
| ¾" | 19,1 | 15 |
| ½" | 12,7 | 16 |
| 3/8" | 9,5 | 18 |

1.8.2. Curvas de Projeto de Misturas de Concreto Asfáltico pelo Método Marshall

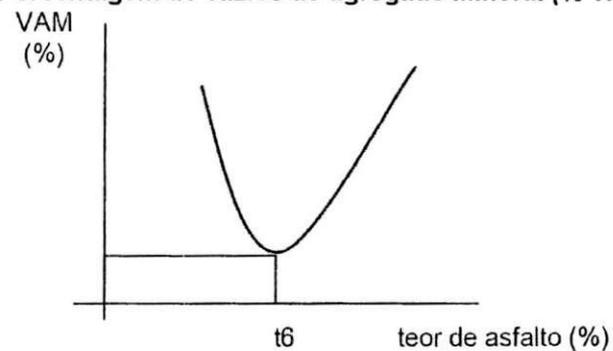
Relação betume-vazios (RBV)

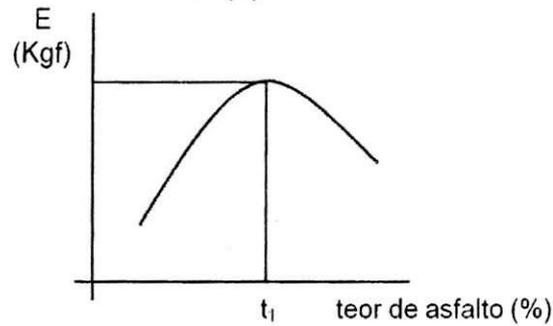
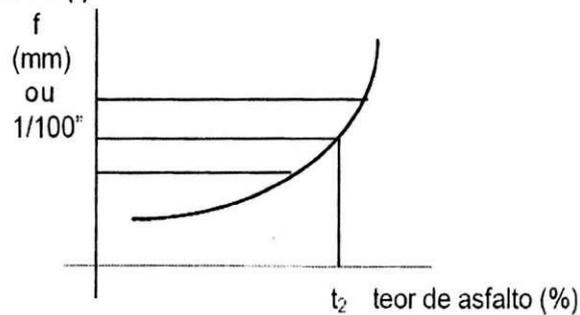


Densidade aparente (d)



Porcentagem de vazios do agregado Mineral (% VAM)



Estabilidade Marshall (E)**Fluência (f)**

Para o traçado dos gráficos é considerada a média de três determinações para cada parâmetro.

Equipamentos

As usinas para este tipo de mistura betuminosa podem ser descontínuas (de peso) ou usinas contínuas (de volume). Deverão ter unidade classificadora de agregado, misturadores capazes de produzir mistura uniforme, termômetro na linha de alimentação de asfalto, termômetro para registrar a temperatura dos agregados.

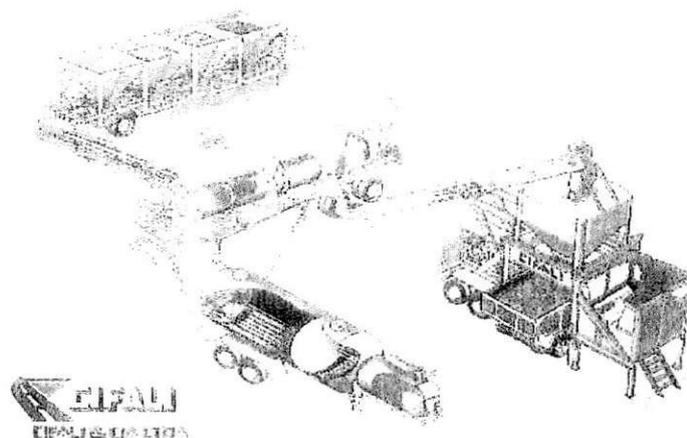


Figura 24 - Esquema geral de Funcionamento de uma Usina Contínua (Volumétrica).

Os depósitos de material betuminoso são providos de dispositivos para aquecer o material (serpentina elétrica) e não devem ter contato com chamas.

Os depósitos para agregado são divididos em compartimentos (silos).

As acabadoras são usadas para espalhar e conformar a mistura nos alinhamentos, nas cotas de projeto e abaulamentos requeridos.

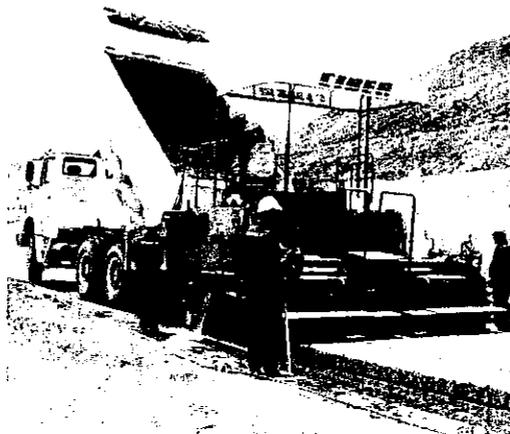


Figura 25 - Acabadora em Funcionamento.

Os equipamentos para compressão normalmente usados são os rolos metálicos lisos, tipo tandem ou rolos metálicos liso vibratório com carga de 8 a 12 ton e rolos pneumáticos auto-propulsores que permitam a calibragem dos pneus de 35 a 120 lib/pol2, com peso variando de 5 a 35 ton.

Os caminhões basculantes são usados para transporte da mistura devem ser providos de lonas.

Execução dos Serviços

a) Preparo da mistura - Os agregados devem ser misturados, de forma a se enquadrarem na faixa granulométrica especificada. Devem ser aquecidos a uma temperatura de no mínimo 10°C e no máximo 15°C, superior a do cimento asfáltico de petróleo (CAP). A especificação para CBUQ do DNER-ES 313/94 determina que a viscosidade Saybolt-Furol do CAP para espalhamento e compactação deve estar entre 75 e 95 SSF. Normalmente os limites para a aplicação do CBUQ devem estar entre 107° C e 177° C, para evitar que ocorra seu craqueamento. A quantidade de CAP na mistura deverá atender ao especificado na dosagem Marshall. A mistura deverá sair da usina a uma temperatura superior a 105°C.

b) Transporte da mistura - A mistura deverá ser transportada em caminhões basculantes cobertos com lona e descarregada na vibro acabadora.

- Espalhamento - A superfície da camada do pavimento que irá receber a mistura, deverá estar com a sua imprimação ligante aplicada e devidamente curada, antes do espalhamento da mistura ser iniciado. A mistura deverá ser espalhada por meio da vibro-acabadora, numa única camada e espessura tal que, após a compressão, a camada fique com a espessura de projeto.
- Compressão - Após o espalhamento e logo que a mistura for capaz de suportar o peso do equipamento de compactação, deverá ser iniciada a compressão, até que seja atingida a massa específica aparente requerida.

A rolagem deve ser iniciada com baixa pressão dos pneus e sendo aumentada aos poucos. A medida que se eleva a pressão dos pneumáticos a área de contato pneu-pavimento vai diminuindo, causando uma maior pressão de compactação. Esta operação deve ser feita dos bordos para o eixo (nos casos de trechos em tangente) e do bordo mais baixo para o mais alto (nos casos de trechos em curva). Cada passada deve recobrir pelo menos a metade da largura rolada anteriormente.

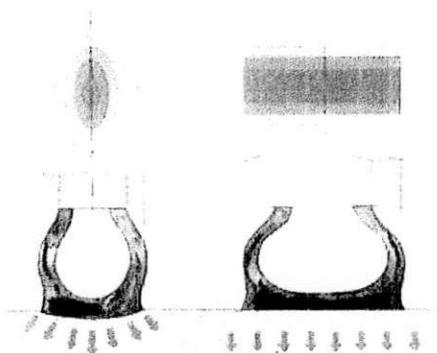


Figura 26 - Esquema de distribuição de pressão dos rolos pneumáticos.

A mistura deverá ser compactada na temperatura onde o CAP apresente uma viscosidade Saybolt-Furol na faixa de 125 a 155 SSF e temperatura nunca inferior a 80°C. Durante a compressão, as rodas do compressor deverão ser umedecidas para evitar a aderência da mistura às rodas do equipamento.

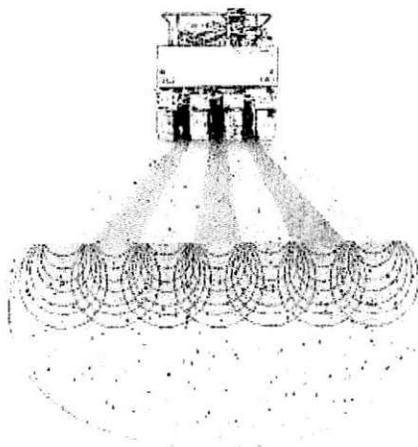


Figura 27 - Esquema de Recobrimento de Compactação de Rolos Pneumáticos

c) Controle

- ✓ *Qualidade do material betuminoso* - feita através dos ensaios de Penetração, Ponto de Amolecimento, Viscosidade, Ponto de Fulgor;
- ✓ *Qualidade dos agregados* - feita através dos ensaios de Granulometria, “Los Angeles”, Índice de Forma, Equivalente de areia, etc;
- ✓ *Quantidade de ligante na mistura* - feita mediante o ensaio de Extração de betume, em amostras coletadas na pista para cada 8 horas de trabalho;
- ✓ *Controle da graduação da mistura de agregados* - pelo ensaio de granulometria dos agregados resultantes da extração de betume (enquadrar nas especificações);
- ✓ *Controle das características Marshall da mistura* - normalmente exige-se 2 ensaios Marshall com 3 corpos de prova cada, por dia de produção, retiradas depois da acabadora e antes da rolagem. A estabilidade, a fluência e os demais parâmetros medidos, devem ser comparados com os valores da dosagem;
- ✓ *Controle da compactação* - pode ser feita através de anéis metálicos (10 cm de diâmetro x altura do pavimento - 5mm). Após a compressão mede-se a densidade aparente e compara-se com a de projeto. Também pode-se comparar a densidade aparente de projeto com a de corpos de prova extraídos após a compactação através de sondas rotativas;
- ✓ *Controle da temperatura* - deverá ser controlada a temperatura do agregado no silo quente da usina, do ligante na usina, da mistura betuminosa na saída do misturador da usina, em todo caminhão que chegar a via e da mistura no

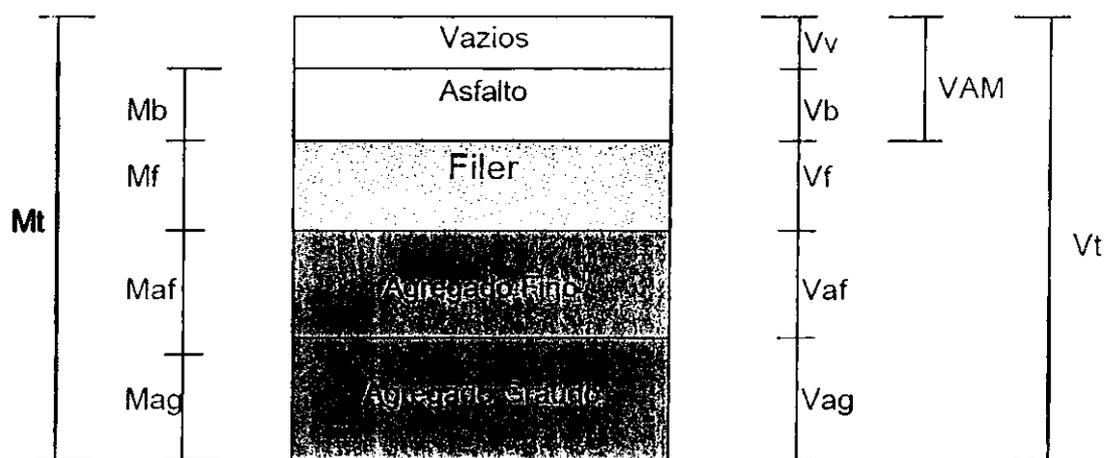
momento do espalhamento e início da rolagem. O concreto asfáltico não deverá ser executado em dias chuvosos ou em temperaturas abaixo de 10°C;

- ✓ *Controle da espessura* - permite-se uma variação de $\pm 10\%$ da espessura de projeto;
- ✓ *Controle do acabamento da superfície* - permite-se uma tolerância de 0,5 cm entre dois pontos.

d) Abertura ao Trânsito - O pavimento deverá ser mantido sem trânsito até atingir a temperatura ambiente.

Constituição da Mistura

Uma mistura de concreto asfáltico pode ser representada esquematicamente da seguinte forma.



Parâmetros de Interesse

a) Densidade Aparente da Mistura (d)

$$d = \frac{M}{M - Ma}$$

Onde: M - massa do corpo de prova;

Ma - massa do corpo de prova imerso em água.

Finalidades: cálculo da % de vazios do agregado mineral (exigência de projeto) e controle de compactação durante a construção.

b) Densidade Máxima Teórica da Mistura (DMT)

É a densidade da mistura asfáltica suposta sem vazios. É a relação entre a massa total da mistura (100%) e os volumes correspondentes ao “cheios” da mistura:

$$DMT = \frac{100}{\frac{b}{D_b} + \frac{f}{D_f} + \frac{af}{D_{af}} + \frac{ag}{D_{ag}}}$$

Onde: %a, %f, %af, %ag - % com que cada componente entra na mistura;

D_b, D_f, D_{af}, D_{ag} - Densidade (real ou aparente) de cada componente da mistura.

c) Porcentagem de Vazios na Mistura (Vv)

É a relação entre o volume de vazios ocupado pelo ar e o volume total da mistura.

Misturas com elevada % Vv podem levar a ocorrência de oxidação excessiva do ligante betuminoso, reduzindo a vida útil do concreto asfáltico, além de proporcionar permeabilidade ao ar e água.

Misturas com baixo % Vv levam a ocorrência do fenômeno da exsudação.

$$Vv = \frac{D-d}{D} \times 100$$

d) Porcentagem de Vazios do Agregado Mineral (VAM)

É o volume total de vazios dado pela soma dos vazios da mistura mais o volume ocupado pelo asfalto.

Se uma mistura betuminosa sofrer uma consolidação devido a ação do tráfego, sua plasticidade poderá ficar acrescida, pois a % de betume que preenchia os vazios dos agregados pode tornar-se excessiva, devido à redução do volume de vazios. Este fenômeno poderá levar o revestimento a deformação, deslocamentos e rupturas.

A % VAM é normalmente fixada em função do diâmetro máximo do agregado da mistura:

$$VAM = \frac{D-d}{D} \times 100 + \frac{d \times b}{d_b}$$

e) Relação Betume-Vazios

Esta relação indica qual a porcentagem de vazios do agregado mineral é preenchida por betume.

$$RBV = \frac{Vb}{VAM} \times 100 \quad \text{ou} \quad \%RBV = \frac{VAM - Vv}{VAM}$$

Se VAM = 100 - todos os vazios da mistura estariam preenchidos de asfalto;

Se VAM = 0 - mistura sem asfalto.

Dosagem do Concreto Asfáltico

Após a definição dos materiais a serem empregados na mistura asfáltica (agregados, fíler e tipo de ligante) passa-se a dosagem do concreto betuminoso, onde o teor de asfalto residual é o item fundamental.

Para a dosagem do concreto betuminoso temos:

- ✓ Escolha dos agregados e material betuminoso;
- ✓ Determinação das porcentagens com que os agregados (grosso e fino) e fíler devem contribuir na mistura de modo a atender as especificações com relação a granulometria.
- ✓ Determinação do teor ótimo de betume. Esta operação pode ser feita por tentativas, aonde se vai variando o teor de asfalto e comparando os resultados de ensaios de estabilidade para vários teores estudados. Existem outros processos que dão idéia bem aproximada do teor de asfalto como o método da área específica ou o método dos vazios.
- ✓ Comparação da mistura estudada com as exigências das especificações com relação aos vazios de ar, vazios do agregado mineral, granulometria e estabilidade. Não sendo satisfeitas estas condições, dosa-se novamente a mistura.

Na dosagem do concreto betuminoso podem ser usados vários métodos como: Marshall, Hubbard Field, Triaxial, Hveem, Ruiz e a metodologia SUPERPAVE do programa americano SHRP.

O Método Marshall

a) Estudo da Mistura de Agregados

Nesta fase preliminar são determinadas as principais características dos agregados escolhidos como a massa específica real e aparente dos agregados, a porcentagem de vazios dos agregados e a granulometria.

Conhecidos os materiais e estando de acordo com as especificações, passa-se ao estudo da mistura dos agregados, de modo a atenderem à especificação granulométrica do Concreto Asfáltico, ou seja, os agregados devem ser misturados em proporções de modo a se enquadrarem nas faixas granulométricas pré-estabelecidas.

b) Determinação do Teor Ótimo de Ligante

Utilizando-se agregados bem graduados, os vazios existentes entre as partículas deverão ser preenchidos com ligantes. O teor de asfalto deve ser progressivamente aumentado de modo a preencher os vazios de ar até que os espaços vazios do agregado estejam cheios ao máximo permitido. Ao se aumentar o teor de ligante além de um certo ponto, não se conseguirá uma máxima consolidação.

A medida que se varia o teor de ligante, a densidade, a estabilidade, a fluência, a porcentagem de vazios da mistura, a relação betume-vazios também sofre variação. O teor ótimo de ligante será aquele que satisfizer, ao mesmo tempo, os limites especificados para os vários parâmetros de interesse.

O teor ótimo de ligante pode ser expresso através da porcentagem de asfalto, em peso, em relação à mistura ou através da porcentagem de asfalto, em peso, em relação aos agregados.

c) Determinação dos Parâmetros de Interesse e das Características Marshall da Mistura

No ensaio Marshall o principal aspecto de interesse é a análise de fatores como densidade, vazios, estabilidade e fluência.

São moldados Corpos de Prova com teores crescentes de asfalto (4 a 8%). As proporções de agregados e fíler são definidas previamente através de estudo específico. Os corpos de prova têm a forma cilíndrica, apresentando aproximadamente 10 cm de diâmetro e 6,35 cm de altura e são compactados através de soquete que age sobre a mistura em um cilindro padronizado.

Após a confecção dos corpos de prova podem ser calculados os seguintes parâmetros: Densidade Real e Aparente (D,d), Porcentagem de Vazios (%vv), Porcentagem dos Vazios do agregado Mineral (%VAM) e Relação Betume-Vazios (RBV).

Feitos estes cálculos iniciais, os corpos de prova são aquecidos até atingirem 60° e submetidos aos ensaios de Estabilidade e Fluência Marshall.

Entende-se por estabilidade como sendo a grandeza que mede a resistência da massa asfáltica à aplicação de carga. Determina a carga máxima que a massa asfáltica pode suportar.

O ensaio de estabilidade Marshall é feito por cisalhamento e não por compressão, pois sendo o concreto asfáltico uma camada de rolamento, o maior esforço solicitante é dado pela ação do tráfego, que é de cisalhamento, devido às cargas horizontais. Normalmente é expresso em Kg.

A fluência é a medida do quanto a massa asfáltica pode “andar” (esmagar, deformar) sob ação cisalhante sem se romper. É a medida da elasticidade da massa.

CAPÍTULO 2 - ELABORAÇÃO DE PROJETO DE ENGENHARIA PARA CONSTRUÇÃO DE RODOVIAS

Conceito

Projeto de engenharia para construção de rodovias é um conjunto de estudos e projetos a serem desenvolvidos para definir o projeto de uma rodovia, da qual não se dispõe de estudo prévio de viabilidade técnica e econômica. A fase de estudo é composta de três etapas: preliminar, anteprojeto e projeto.

2.1. Elaboração do Projeto

2.1.1. Fase Preliminar

É realizada por meio de levantamento expedito de todas as condicionantes do projeto a serem mais detalhadamente estudadas com vistas à escolha do traçado para a rodovia. Esses estudos são subsidiados pelas indicações de planos diretores, reconhecimentos, mapeamentos e outros elementos existentes.

O relatório contém a descrição, plantas dos estudos efetuados e o plano de trabalho para o prosseguimento do projeto. Este se fundamentará nas conclusões e recomendações do estudo embasado em análise econômica sumária, de acordo com:

- ✓ IS-201 - Estudos de tráfego;
- ✓ IS-202 - Estudos geológicos;
- ✓ IS-203 - Estudos hidrológicos;
- ✓ IS-207 - Estudos preliminares de engenharia para rodovias (estudos de traçado);
- ✓ IS-208 - Projeto geométrico;
- ✓ IS-246 - Componente ambiental de projetos de engenharia rodoviária.

2.1.2. Estudos de Tráfego

- Avaliar a capacidade de tráfego da rodovia por período de 20 anos, por segmento homogêneo.
- Determinar o Número N do projeto. Nas projeções e alocação de tráfego manter os fatores de crescimento e as premissas de alocação estabelecidas no Plano Diretor Rodoviário, elaborado pelo DNER para a região.

2.1.3. Estudos Geológicos

A localização de ocorrência de materiais para pavimentação.

2.1.4. Estudos Hidrológicos

- ✓ Dimensionamento de novas obras;
- ✓ Verificação do funcionamento hidráulico das obras existentes;
- ✓ Redimensionamento dos dispositivos de drenagem que estejam efetivamente com seções de vazão insuficientes, causando prejuízos ao pavimento ou provocando problemas ambientais;
- ✓ Fornecer elementos para o projeto de drenagem;
- ✓ Fornecer elementos para a determinação dos custos de construção e o plano de ataque da obra.

2.2. Fase de Anteprojeto

Aprovadas as conclusões e recomendações da fase preliminar, inicia-se a fase de anteprojeto, para estudar as alternativas de traçado julgadas convenientes na fase preliminar e a estimativa do custo das obras, atendendo às recomendações seguintes:

- ✓ I S-204 - Estudos topográficos para anteprojeto;
- ✓ IS-207 - Estudos preliminares de engenharia para rodovias (estudos de traçado);
- ✓ IS-227 - Restituição aerofotogramétrica e apoio de campo para anteprojeto de rodovia;
- ✓ IS-246 - Componente ambiental dos projetos de engenharia rodoviária.

2.3. Fase de Projeto

Com a aprovação das conclusões e recomendações da fase de anteprojeto será iniciados o detalhamento do mesmo e a representação da obra a ser executada, devendo definir todos os serviços a serem realizados devidamente vinculados às Especificações Gerais, Complementares ou Particulares, quantificados e orçados segundo a metodologia estabelecida para a determinação de custos unitários e contendo ainda o plano de execução da obra, listagem de equipamentos a serem alocados e materiais, notas de serviço e mão-de-obra em correlação com os cronogramas físicos e financeiros. . As atividades desenvolvidas nesta fase são:

- ✓ IS-205 - Estudos topográficos;
- ✓ IS-206 - Estudos geotécnicos;
- ✓ IS-208 - Projeto geométrico;
- ✓ IS-209 - Projeto de terraplenagem;
- ✓ IS-210 - Projeto de drenagem;
- ✓ IS-211 - Projeto de pavimentação (pavimentos flexíveis);
- ✓ IS-213 - Projeto de interseções, retornos e acessos;
- ✓ IS-214 - Projeto de obras-de-arte especiais;
- ✓ IS-215 - Projeto de sinalização;
- ✓ IS-216 - Projeto de paisagismo;
- ✓ IS-217 - Projeto de defensas e barreiras;
- ✓ IS-218 - Projeto de cercas;
- ✓ IS-219 - Projeto de desapropriação;
- ✓ IS-220 - Orçamento da obra;
- ✓ IS-222 - Plano de execução da obra;
- ✓ IS-223 - Avaliação e dimensionamento de obras-de-arte especiais existentes;
- ✓ IS-224 - Projeto de sinalização da rodovia durante a execução de obras e serviços;

- ✓ IS-225 - Projeto de pavimentação (pavimentos rígidos);
- ✓ IS-246 - Componente Ambiental dos projetos de engenharia rodoviária.

A verificação da capacidade das obras de drenagem existentes, o dimensionamento das novas obras e o eventual prolongamento destas seguirá a IS-210. As obras-de-arte especiais existentes serão vistoriadas e consignadas em laudo técnico, seguindo as recomendações da IS-223. Caso alguma obra venha a ser condenada, o projeto de sua substituição seguirá as IS-214 e IS-223.

2.3.1. Estudos Topográficos

Os estudos topográficos terão por finalidade o levantamento das características geométricas da rodovia existente, executados por método topográfico convencional.

2.3.2. Projeto de Pavimentação

A partir dos estudos geotécnicos e geológicos e da avaliação do pavimento existente, de acordo com o anteprojeto do pavimento contendo concepção de reabilitação da rodovia, adotando-se a seguinte seqüência:

- Diagnóstico;
- Definição das soluções funcionais a adotar;
- Dimensionamento dos trechos a reabilitar.

O diagnóstico consistirá do estudo das causas de deterioração e no estabelecimento de diretrizes que nortearão a sua recuperação. O segmento será dividido em sub-trechos homogêneos, classificados com base no comportamento do pavimento no campo, no que diz respeito às condições superficiais e estruturais.

Obtém-se a solução do dimensionamento do pavimento através dos métodos indicados a saber, recomendando-se, a comparação dos resultados obtidos pela aplicação de dois métodos, sendo um deles obrigatoriamente o DNER-PRO 011:

- IS-211 (substituição) Anteprojeto e projeto de pavimentação (pavimento flexível);
- IS-212 (reabilitação) Avaliação e redimensionamento de pavimento existente.

A metodologia recomendada nestas instruções de serviço são as seguintes:

- ✓ DNER-PRO 010 Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis - procedimento A;
- ✓ DNER-PRO 011 Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis - procedimento B;
- ✓ DNER-PRO 159 Projeto de restauração de pavimentos flexíveis e semi-rígidos;
- ✓ DNER-PRO 269 Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis - TECNAPAV.

Apresentação

O Relatório Parcial 01 apresenta as conclusões dos estudos desenvolvidos nesta fase além das recomendações relativas aos trabalhos a serem realizados na fase seguinte. O mesmo será submetido à apreciação do DNER para aprovação e, uma vez aprovado, possibilitará o prosseguimento dos trabalhos.

No Relatório Parcial 02 contêm as soluções propostas, quadros indicativos das características técnicas e operacionais, quantitativos dos serviços e anteprojetos.

No Relatório Final será apresentado sob a forma de minuta. Após o exame do DNER e as eventuais correções efetuadas pelo projetista, será apresentada a impressão definitiva, constituindo-se dos seguintes documentos:

- Volume 1 - Relatório do Projeto e Documentos de Licitação;
- Volume 2 - Projeto de Execução;
- Volume 3A - Memória Justificativa;
- Volume 3B - Estudos Geotécnicos;
- Volume 3C - Memória de Cálculo de Estruturas;
- Volume 3D - Nota de Serviços e Cálculo de Volumes;
- Volume 3E - Projeto de Desapropriação;
- Volume 4 - Orçamento e Plano de Execução da Obra.

Volume 1 - Relatório do Estudo, descreve de forma sucinta os estudos e projetos, os resultados obtidos, as conclusões decorrentes e os elementos que sejam de interesse para a

licitação da fase seguinte, relativa à elaboração do projeto de engenharia do segmento rodoviário correspondente.

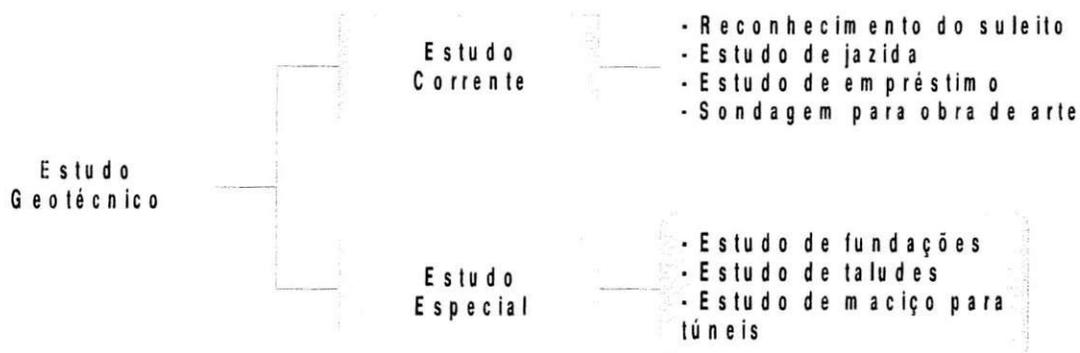
Volume 2 - Anteprojeto de Engenharia, inclui o quadro de características técnicas e operacionais, os quadros de quantidades de serviços e os anteprojetos.

Volume 3 - Memória Justificativa, consta de justificativas técnicas e econômicas para todas as alternativas propostas, com exposição clara das metodologias adotadas, do desenvolvimento dos estudos realizados e resultados obtidos.

Volume 4 – Orçamento, é apresentado o orçamento, com os custos de todos os serviços necessários às análises econômicas, para cada alternativa estudada, indicando e justificando os métodos adotados.

2.4 Estudo Geotécnico

Este projeto analisa o comportamento dos elementos do solo no que se refere diretamente à obra. Os estudos geotécnicos, de um modo geral podem ser divididos:



Os estudos geotécnicos para um Projeto de Pavimentação compreendem:

- Reconhecimento do Subleito;
- Estudos de Ocorrências de Materiais para Pavimentação.

2.4.1 Reconhecimento do Subleito

Para o dimensionamento de um pavimento rodoviário é indispensável o conhecimento do solo que servirá para a futura estrutura a ser construída. O solo de fundação, chamado de subleito, requer atenção especial, através de estudos geotécnicos, que possibilitam o seu reconhecimento, identificação e quantificação das suas características físicas e mecânicas assim como a obtenção dos parâmetros geotécnicos necessários ao dimensionamento da estrutura.

A espessura final do pavimento, assim como os tipos de materiais a serem empregados são função das condições do subleito. Quanto pior forem as condições do subleito, maior será a espessura do pavimento, podendo muitas vezes, ser requerida a substituição parcial do mesmo, com troca por outro de melhores condições.

O estudo do reconhecimento do solo do subleito, normalmente é realizado antes da terraplanagem. Desta forma o projeto da rodovia englobaria os projetos de terraplanagem e pavimentação.

a) Objetivos - O estudo do subleito das estradas de rodagem com a terraplanagem concluída tem como objetivo o reconhecimento dos solos visando à caracterização das diversas camadas e o posterior traçado dos perfis dos solos para efeito do projeto de pavimento (DNER,1996).

b) Sequência dos serviços - O reconhecimento do subleito é feito em três etapas:

Inspeção expedita no campo – é realizada as sondagens superficiais no eixo e nos bordos da plataforma da rodovia para identificar os diversos horizontes de solos (camadas) por intermédio de uma inspeção expedita do campo.

Coleta de amostras / ensaios - visam fornecer material para a realização dos ensaios geotécnicos e posterior traçado dos perfis de solos. São definidos a partir dos elementos fornecidos pela inspeção expedita do campo.

Traçado do perfil longitudinal – com os resultados dos ensaios, traça-se o perfil longitudinal de solos constituintes do subleito estudado.

c) Inspeção expedita de campo – Segundo o DNER (1996), para identificar as camadas de solo, pela inspeção expedita no campo são feitas sondagens no eixo e nos bordos da estrada, devendo estas, serem executadas a 3,50 m do eixo. Os furos de sondagem são realizados com trado ou pá e picareta.

O espaçamento máximo, entre dois furos de sondagem no sentido longitudinal, é de 100 m a 200 m, tanto em corte como em aterro, devendo reduzir-se, no caso de grande variação de tipos de solos. Nos pontos de passagem de corte para aterro devem ser realizados também furos de sondagem.

A profundidade dos furos de sondagem será de 0,60 m a 1,00 m abaixo do greide projetado para a regularização do subleito. Furos adicionais de sondagem com profundidade de até 1,50 m abaixo do greide projetado para regularização poderão ser realizados próximos ao pé de talude de cortes, para verificação do nível do lençol de água e da profundidade de camadas rochosas.

Em cada furo de sondagem, devem ser anotadas as profundidades inicial e final de cada camada, a presença e a cota do lençol de água, material com excesso de umidade, ocorrência de mica e matéria orgânica.

Os furos de sondagem devem ser numerados, identificados - com o número de estaca do trecho da estrada em questão, seguidos das letras E, C ou D, conforme estejam situados no bordo esquerdo, eixo ou bordo direito. Deve ser anotado também o tipo de seção: corte, aterro, seção mista ou raspagem, com as iniciais C, A, SM, R.

Os materiais para efeito de sua inspeção expedita no campo serão classificados de acordo com a textura:

- Bloco de rocha: pedaço isolado de rocha que tenha diâmetro superior a 1 m;
- Matacão: pedaço de rocha que tenha diâmetro médio entre 25cm e 1m;
- Pedra de mão: pedaço de rocha que tenha diâmetro médio entre 76 mm e 25 cm;
- Pedregulho: fração de solo entre as peneiras de 76 mm (3") e de 2,0 mm (nº 10);
- Areia:
 - Grossa - fração de solo entre as peneiras de 2,0 mm (nº 10) e 0,42 mm (nº 40);
 - Fina - fração de solo entre as peneiras de 0,42 mm (nº40) e 0,075 mm (nº 200);
 - Silte e Argila - fração de solo constituída por grãos de diâmetro abaixo de 0,075mm.

São usadas, na descrição das camadas de solos, combinações dos termos citados como, por exemplo, pedregulho areno-siltoso, areia fina-argilosa, etc.

A identificação dos solos por inspeção expedita, usa-se testes expeditos: teste visual, do tato, do corte, da dilatância, da resistência seca, etc. A cor do solo é elemento importante na classificação de campo. As designações "siltoso" e "argiloso" são dadas em função do I.P., menor ou maior que 10, do material passando na peneira de 0,42 mm (nº 40). O solo tomará o nome da fração dominante, para os casos em que a fração passando na peneira nº 200 for menor ou igual a 35%; quando esta fração for maior que 35%, os solos são considerados siltes ou argilas, conforme seu I.P. seja menor ou maior que 10.

Todos os elementos referidos, obtidos durante a inspeção expedita, são anotados no "Boletim de Sondagem" (Figura 05)

| BOLETIM DE SONDA GEM | | | | | |
|----------------------|---------|---------|--------------------|-----------|--------|
| Interessado: | | | Procedência: | | Nº |
| Finalidade: | | | Data | Sondador: | Visto: |
| Estaca | Furo nº | Posição | Profundidade total | Descrição | |
| | | | | | |

Figura 28 – Boletim de Sondagem (DNER, 1996)

d) Coleta de amostras e execução dos ensaios – A próxima etapa é a coleta de amostras para a realização dos ensaios de laboratório:

- ✓ Granulometria por peneiramento com lavagem do material na peneira de 2,0 mm (nº 10) e de 0,075 mm (nº 200);
- ✓ Limite de Liquidez;
- ✓ Limite de Plasticidade;
- ✓ Limite de Contração (casos especiais de materiais do subleito);

- ✓ Compactação;
- ✓ Massa Específica Aparente "in situ";
- ✓ Índice Suporte Califórnia (ISC);
- ✓ Expansibilidade (solos lateríticos).

A coleta das amostras é realizada em todas as camadas que aparecem na seção transversal, onde a inspeção expedita indicou maiores espessuras de camadas. Para os ensaios de caracterização (granulometria, LL e LP) é coletada, de cada camada, uma amostra representativa para cada 100 m ou 200 m de extensão longitudinal, podendo o espaçamento ser reduzido no caso de grande variação de tipos de solos. As amostras são acondicionadas convenientemente e providas de etiquetas onde constam a estaca, o número de furo de sondagem, e a profundidade, tomando, depois, um número de registro em laboratório.

Para os ensaios de Índice Suporte Califórnia (I.S.C.) retira-se uma amostra representativa de cada camada, para cada 200 m de extensão longitudinal, podendo este número ser aumentado em função da variabilidade dos solos.

As determinações de massa específica aparente seca "in situ" do subleito e retiradas de amostras para o ensaio de compactação, quando julgadas necessárias são feitas com o espaçamento dos furos no sentido longitudinal, no eixo e bordos, na seguinte ordem: bordo direito, eixo, bordo esquerdo, etc. As determinações nos bordos devem ser em pontos localizados a 3,50 m do eixo. Mediante comparação entre os valores obtidos "in situ" e os laboratórios, para cada camada em causa, determina-se o grau de compactação.

Para materiais de subleito, o DNER utiliza o ensaio de compactação AASHTO. normal, exigindo um grau mínimo de compactação de 100% em relação a este ensaio, sendo o I.S.C. determinado em corpos-de-prova moldados nas condições de umidade ótima e densidade máxima correspondentes a este ensaio.

O I.S.C. correspondente a estas condições é avaliado mediante a moldagem de 3 corpos-de-prova com umidades próximas a umidade ótima.

Para fins de estudos estatísticos dos resultados dos ensaios realizados nas amostras coletadas no subleito, as mesmas devem ser agrupadas em trechos com extensão de 20 km ou menos, desde que julgados homogêneos dos pontos de vista geológico e pedológico.

e) **Traçado do perfil longitudinal / apresentação dos resultados** - Segundo o DNER (1996) os resultados dos ensaios de laboratórios devem constar de um "Quadro - Resumo de Resultados de Ensaio".

Com base no "Quadro-Resumo", é feita separadamente, para cada grupo de solos da classificação TRB, uma análise estatística dos seguintes valores:

- Percentagem, em peso, passando nas peneiras utilizadas no ensaio de granulometria. As análises são das percentagens, passando nas peneiras nº 10, nº 40 e nº 200.
- LL
- IP
- IG
- ISC
- Expansão (ISC)

O DNER utiliza o seguinte plano de amostragem para a análise estatística dos resultados dos ensaios:

Chamando $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$, os valores individuais de qualquer uma das características citadas, tem-se:

$$X_{m\acute{a}x} = \bar{X} + \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} + 0,68\sigma \quad \bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad X_{m\acute{i}n} = \bar{X} - \frac{1,29\sigma}{\sqrt{N}} - 0,68\sigma \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N-1}}$$

Onde:

N - Número de amostras

σ - desvio padrão

X - valor individual

$X_{m\acute{i}n.}$ - valor mínimo provável, estatisticamente

\bar{X} - média aritmética

$X_{m\acute{a}x.}$ - valor máximo provável, estatisticamente

$N \geq 9$ (número de determinações feitas)

A análise estatística dos diversos grupos de solos encontrados no subleito pode ser apresentada, conforme a Figura 06.

| ANÁLISE DOS SOLOS DO SUBTRECHO E' ----- | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|------|------|------|
| ESTACA ----- A ESTACA ----- | | | | | | | | | | QUADRO - RESUMO | | | |
| GRUPO DE SOLOS | | | | | | | | | | | | | |
| ESTADO DE DEGRADAÇÃO | | | | | | | | | | | | | |
| ANÁLISE ESTADÍSTICA | | | | | | | | | | | | | |
| GRUPO DE SOLOS | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT | STAT |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| | 2" | | | | | | | | | | | | |
| | 1" | | | | | | | | | | | | |
| | 3/8" | | | | | | | | | | | | |
| | Nº 4 | | | | | | | | | | | | |
| Nº 10 | | | | | | | | | | | | | |
| Nº 40 | | | | | | | | | | | | | |
| Nº 200 | | | | | | | | | | | | | |
| LI | | | | | | | | | | | | | |
| IP | | | | | | | | | | | | | |
| IC | | | | | | | | | | | | | |
| CONDIÇÃO | MINIMA QUITA | | | | | | | | | | | | |
| | EM PIS MÁXIMA | | | | | | | | | | | | |
| | EM PIS | | | | | | | | | | | | |
| | EM PIS | | | | | | | | | | | | |
| FAIXA GRANULOMÉTRICA | PARÂMETRO | | | | | | | | | | | | |
| | PARÂMETRO | | | | | | | | | | | | |
| | PARÂMETRO | | | | | | | | | | | | |
| | PARÂMETRO | | | | | | | | | | | | |
| ISC DO PROJETO | | | | | | | | | | | | | |

Figura 29 – Análise Estatística dos Resultados (DNER, 1996)

Um perfil longitudinal com indicação dos grupos de solos pode ser visto na Figura 07.

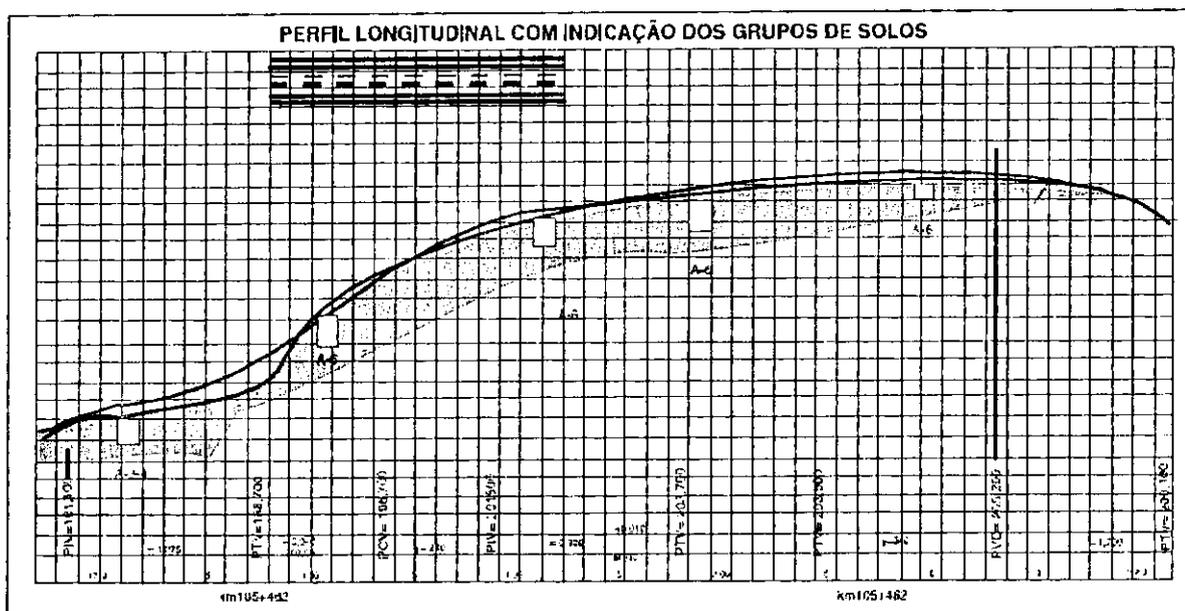


Figura 30 – Exemplo de Perfil Longitudinal (DNER, 1996)

2.4.2 Estudo das Ocorrências de Materiais para Pavimentação

Nesta fase são feitos estudos específicos nas Jazidas da região próxima à construção da rodovia que serão analisadas para possível emprego na construção das camadas do pavimento (regularização do subleito, reforço, sub-base, base e revestimento).

Estes estudos têm como base dados da Geologia e Pedologia da região e podem ser utilizadas fotografias aéreas, mapas geológicos, além de pesquisa com os moradores da região, reconhecimento de jazidas antigas, depósitos aluvionares às margens dos rios, etc. É feita também a localização das fontes de abastecimentos de água.

O termo “Jazida” denomina todo depósito natural de material capaz de fornecer matéria-prima para as mais diversas obras de engenharia e o termo “Ocorrência” é empregado quando a matéria-prima ainda não está sendo explorada.

O DNER define como deve ser procedido o estudo de jazidas:

- Prospecção Preliminar;
- Prospecção Definitiva.

a) Prospecção Preliminar - é feita para identificar as ocorrências que apresentam a possibilidade de seu aproveitamento, tendo em vista a qualidade do material e seu volume aproximado. A prospecção preliminar compreende:

- Inspeção expedita no campo;
- Sondagens;
- Ensaio de laboratórios.

Assim sendo nas ocorrências de materiais julgados aproveitáveis na inspeção de campo, procede-se:

- Delimitação da área onde existe a ocorrência do material;
- Faz-se 4 e 5 furos de sondagem na periferia e no interior da área delimitada, localizados até à profundidade necessária, ou compatível com os métodos de extração a serem adotados;
- Coleta em cada furo e para cada camada, uma amostra suficiente para o atendimento dos ensaios desejados. Anota-se as cotas de mudança de camadas, adotando-se uma denominação expedita que as caracterize. O material aparentemente imprestável,

constituente da camada superficial, será identificado com o nome genérico de capa ou expurgo. Os outros materiais próprios para o uso, serão identificados pela sua denominação corrente do lugar, como: cascalho, seixos, etc;

- Faz-se a amarração dos furos de sondagem, anotando-se as distâncias aproximadas entre os mesmos e a posição da ocorrência em relação à rodovia em estudo.

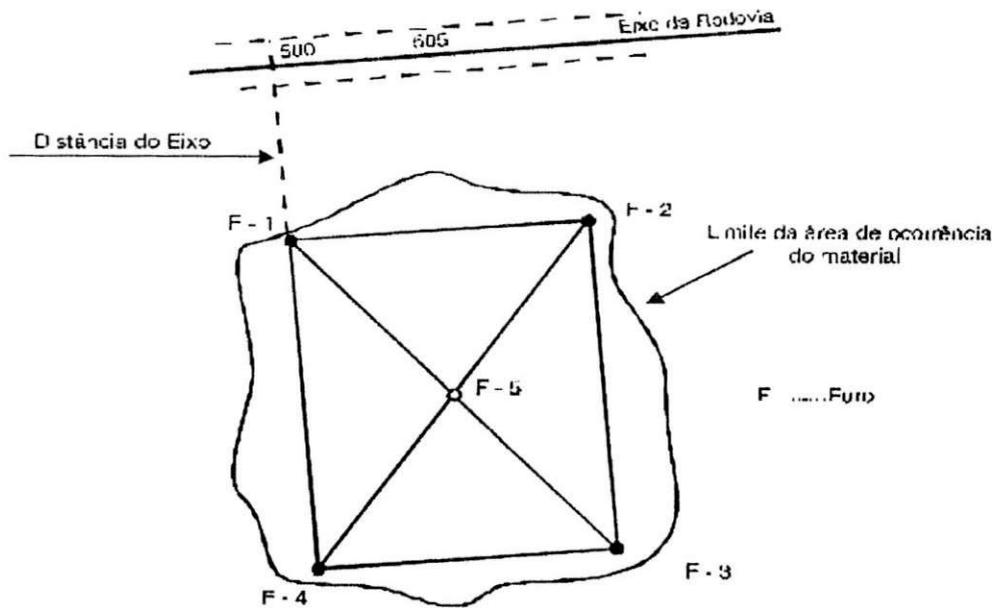


Figura 31 – Esquema de Localização de Jazida

Uma ocorrência será considerada satisfatória para a prospecção definitiva, quando os materiais forem coletados e ensaiados quanto a:

- Granulometria por peneiramento com lavagem do material na peneira de 2,0 mm (nº 10) e de 0,075 mm (nº 200);
- Limite de Liquidez LL;
- Limite de Plasticidade LP;
- Equivalente de Areia;
- Compactação;
- Índice Suporte Califórnia - ISC;

Será considerada satisfatória também caso parte dos materiais existentes satisfizerem as especificações vigentes, ou quando houver a possibilidade de correção, por mistura, com

materiais de outras ocorrências. As exigências para os materiais de reforço do subleito, sub-base e base estabilizada, são as seguintes:

Reforço do subleito - características geotécnicas superiores a do subleito, demonstrados pelos ensaios de I.S.C. e de caracterização (Granulometria, LL, LP).

Sub-base granulometricamente estabilizada - ISC > 20 e Índice do Grupo IG = 0 para qualquer tipo de tráfego.

Base estabilizada granulometricamente

- Limite de Liquidez máximo: 25%
- Índice de Plasticidade máximo: 6%
- Equivalente de Areia mínimo: 30%

Caso o Limite de Liquidez seja maior que 25% e/ou Índice de Plasticidade, maior que 6, poderá o solo ser usado em base estabilizada, desde que apresente Equivalente de Areia maior que 30%, satisfaça as condições de Índice Suporte Califórnia e se enquadre nas faixas granulométricas citadas adiante. O Índice Suporte Califórnia deverá ser maior ou igual a 60 para qualquer tipo de tráfego; a expansão máxima deverá ser 0,5%. Poderá ser adotado um ISC até 40, quando economicamente justificado, em face da carência de materiais e prevendo-se a complementação da estrutura do pavimento pedida pelo dimensionamento pela construção de outras camadas betuminosas.

Quanto a granulometria, deverá estar enquadrada em uma das faixas das especificações:

| PENEIRAS | % em peso passando | | | | | |
|----------|--------------------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | I | | | | II | |
| | A | B | C | D | E | F |
| 2" | 100 | 100 | -- | -- | -- | -- |
| 1" | -- | 75-90 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 3/8" | 30-65 | 40-75 | 50-85 | 60-100 | | |
| Nº 4 | 25-55 | 30-60 | 35-65 | 50-85 | 55-100 | 70-100 |
| Nº 10 | 15-40 | 20-45 | 25-50 | 40-70 | 40-100 | 55-100 |
| Nº 40 | 8-20 | 15-30 | 15-30 | 25-45 | 20-50 | 30-70 |
| Nº 200 | 2-8 | 5-15 | 5-15 | 10-25 | 6-20 | 8-25 |

A prospecção preliminar das pedreiras é realizada mediante as indicações geológicas, procurando-se avaliar no local por meio de sondagens e de levantamento expeditos:

- O volume de capa ou de expurgo da pedreira;
- A altura e a largura da frente de exploração de rocha aparentemente são da pedreira.

b) Prospecção Definitiva - Compreende:

- Sondagens e coleta de amostras;
- Ensaios de laboratório;
- Avaliação de volume das ocorrências.

Sondagens e Coleta de Amostras

Uma vez verificada a possibilidade de aproveitamento técnico-econômico de uma ocorrência, com base nos ensaios de laboratório - realizados nas amostras coletadas nos furos feitos de acordo com a prospecção preliminar, será feito o estudo definitivo da mesma e sua cubagem. Para isso, lança-se um reticulado com malha de 30 m ou mais de lado, dentro dos limites da ocorrência selecionada, onde serão feitos os furos de sondagem.

Ensaios de Laboratório

Em cada furo da malha ou no seu interior, para cada camada de material, será feito um Ensaio de Granulometria por peneiramento, de Limite de Liquidez, de Limite de Plasticidade e de Equivalente de Areia (quando for indicado).

No caso de existirem camadas com mais de 1 m de espessura, deve-se executar os ensaios acima citados, para cada metro de profundidade dessa camada. Para determinação do Índice Suporte Califórnia (ISC) a mesma orientação deverá ser seguida, ensaiando-se materiais de furos mais espaçados, se for o caso.

O Ensaio de Índice Suporte Califórnia para ocorrência de solos e materiais granulares, é feito utilizando os corpos-de-prova obtidos no ensaio de compactação, ou os três que mais se aproximem do ponto de massa específica aparente máxima, de acordo com o método padronizado do DNER.

Avaliação de Volume das Ocorrências – Cubagem

Com a rede de furos lançada (de 30 em 30 m) e com a profundidade de cada furo e cada horizonte, pode-se calcular o volume de cada tipo de material encontrado na jazida.

As quantidades mínimas de materiais de ocorrência a serem reconhecidas, para cada quilômetro de pavimento de estrada, são aproximadamente as seguintes:

| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| Regularização e reforço do subleito | 2500 m ³ |
| Sub-base | 2000 m ³ |
| Base | 2000 m ³ |
| Areia | 300 m ³ |
| Revestimento (Pedreiras) | 500 m ³ |

No que se refere às pedreiras, a norma 6490/85 (NB-28/68), para "Reconhecimento e Amostragem para Fins de Caracterização das Ocorrências de Rochas", diz que a coleta de amostras de rochas para serem submetidas aos ensaios correntes de Abrasão Los Angeles, Sanidade e Adesividade é realizada através de sondagens rotativas ou então, quando a ocorrência assim o permitir, por extração por meios de furos com barra-mina e explosivos no paredão rochoso.

c) Apresentação dos Resultados - Os resultados das sondagens e dos ensaios dos materiais das amostras das ocorrências de solos e materiais granulares são apresentados através dos seguintes elementos:

- Boletim de Sondagem;
- Quadro-resumo dos Resultados dos Ensaios;
- Análise Estatística dos Resultados; (Figura 10)
- Planta de Situação das Ocorrências; (Figura 11)
- Perfis de Sondagem Típicos. (Figura 12)

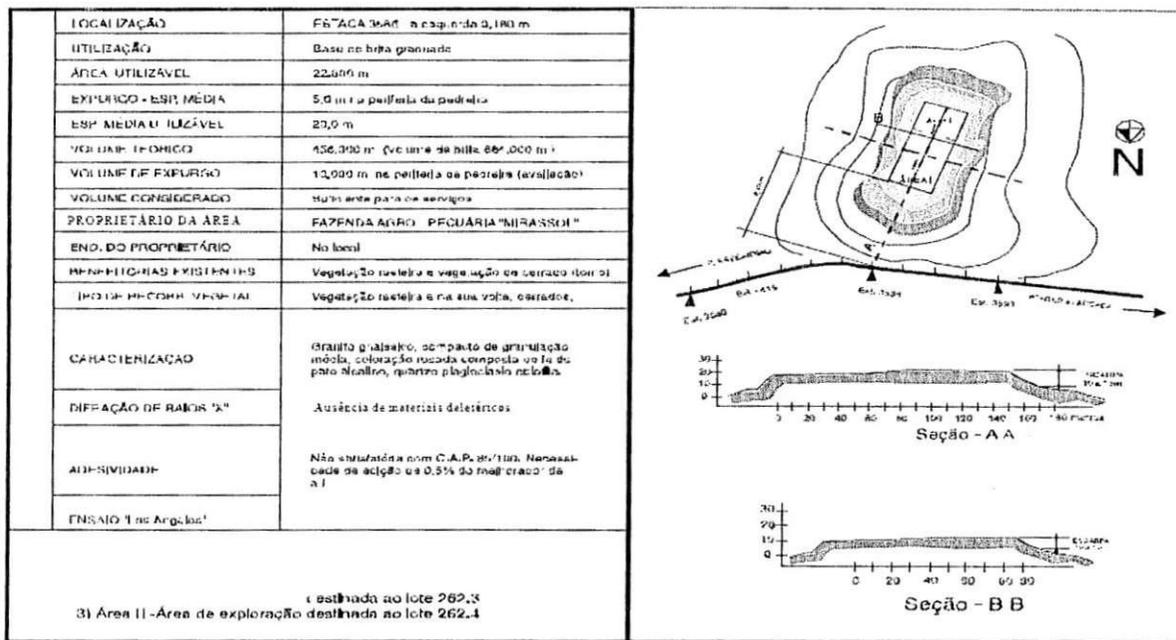


Figura 34 - Perfis de Sondagem Típica

CONCLUSÕES

Os benefícios de uma rodovia pavimentada em bom estado de conservação são inúmeras: redução do custo de transporte e do tempo de viagem, diminuição do consumo de combustível, redução das despesas com manutenção e redução do índice de acidentes.

Mas para que isso aconteça, é necessário fazer um estudo geotécnico dos materiais utilizados nas obras de pavimentação. O estudo geotécnico permitir conhecer as características do material por meio de ensaios normatizados, que fornecem o comportamento do mesmo sob determinadas condições. Assim, como a ocorrência de materiais.

O projeto de pavimentação permite utilizar uma grande variedade de materiais que irá depender da disponibilidade local.

O projeto de uma rodovia envolve um conjunto de estudos nas mais diversas áreas que dão embasamento aos conceitos necessários para ter um pavimento econômico, durável e com o melhor desempenho possível.

É sempre importante unir o conhecimento teórico ao conhecimento prático. O estágio abre novos caminhos, tornando os estudos vistos na universidade mais claros e abrangentes proporcionando, assim, o amadurecimento profissional dos estudantes e a sua conscientização quanto a realidade do mercado de trabalho.

Em um mercado cada vez mais competitivo, a busca constante pela maior qualidade das obras é primordial para o sucesso das empresas. Neste contexto, podem ser apontadas como medidas indispensáveis para a prevenção de erros de projeto e/ou execução reuniões constantes entre engenheiros e operários, o desenvolvimento de um ambiente de trabalho satisfatório, a fiscalização constante do engenheiro responsável e comunicação entre os fornecedores e clientes.

REFERÊNCIAS

ABCP. *Dosagem das misturas de solo-cimento - Normas de dosagem*. São Paulo: 1986.

DNER - Departamento Nacional de Estrada de Rodagem. *Manual de Pavimentação*. 2 ed. Rio de Janeiro: Ed. Brasil,1996.

_____.DNER – ME 078/94: agregado graúdo: adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1994.

_____.DNER – ME 086/94: agregados: determinação do índice de forma. Rio de Janeiro, 1994.

_____.DNER – ME 089/94: agregados: avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. Rio de Janeiro, 1994.

_____.DNER – ME 035/95: peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____.DNER – ME 035/95: peneiras de malhas quadradas para análise granulométrica de solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____.DNER – ME 054/97: equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997.

_____.DNER – ME 313/97: pavimentação: concreto betuminoso. Rio de Janeiro, 1997.

_____.DNER – ME 367/97: material de enchimento para misturas betuminosas. Rio de Janeiro, 1997.

. _____.DNER – ME 083/98: agregados: análise granulométrica Rio de Janeiro, 1998.

FERNANDES, JR., J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. *Defeitos e Atividades de Manutenção e Reabilitação de Pavimentos Asfálticos*. Apostila. EESC/USP - São Carlos, SP, 1999.

MEDINA, J. *Mecânica dos Pavimentos*. 1 ed. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ 1997

NASCIMENTO, A. A. P. Junior, F. A. *Solo-cimento - a nova norma de dosagem*. 29ª Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo: 1991.

SANTANA, H. *Manual de Pré-Misturados a Frio*. Rio de Janeiro: IBP/Comissão de Asfalto, 1993.

SENÇO, W. *Pavimentação*. 2 ed. São Paulo: Escola Politécnica de São Paulo Vol. 1 e 2, 1972.

_____, *Manual de Técnicas de Pavimentação*. São Paulo: Editora Pini Ltda. Vol. 1, 1997

SÓRIA, M. H. A. *Projeto de Pavimentos*. Notas de Aulas – Projeto de Pavimentos. EESC/USP, São Carlos, SP, 1997.

SOUZA, M.L. *Pavimentação Rodoviária*. Rio de Janeiro: LTC, 1980.

ROBERTS, F. L., KANDHAL, P. S., BROWN, E. R.; LEE D. Y. e KENNEDY T. W., “Hot mix asphalt materials, mixture design and construction”, in: NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.