

Paulo César Pinto

PAVIMENTOS

TÉCNICAS EXECUTIVAS

Paulo César Pinto

PAVIMENTOS

TÉCNICAS EXECUTIVAS



Capivari de Baixo
2024

Editora Univinte – 2024.
Título: Pavimentos: técnicas executivas.
Autor: Paulo César Pinto
Capa: Andreza dos Santos.
Revisão: Do Autor.
Editoração: Andreza dos Santos.

CONSELHO EDITORIAL Expedito Michels – Presidente Emillie Michels Andreza dos Santos	
Dr. Diego Passoni	Dra. Beatriz M. de Azevedo
Dr. José Antônio dos Santos	Dra. Patrícia de Sá Freire
Dr. Nelson G. Casagrande	Dra. Solange Maria da Silva
Dra. Joana Dar’c de Souza	Dr. Paulo Cesar L. Esteves
Dr. Rodrigo Luvizotto	Dra. Adriana C. Pinto Vieira
Dr. Amilcar Boeing	Esp. Gabriela Fidelix de Souza

P65p

Pinto, Paulo César.
Pavimentos: técnicas executivas. [recurso eletrônico] /
Paulo César Pinto. Capivari de Baixo : Editora Univinte, 2024.
15,0 MB ; PDF.

ISBN: 978-65-87169-86-6

1. Engenharia civil. 2. Pavimentação. I. Título.

CDD: 625.8

(Catalogação na fonte por Andreza dos Santos – CRB/14 866).

Editora Univinte – Avenida Nilton Augusto Sachetti, nº 500 – Santo André, Capivari de Baixo/SC. CEP 88790-000.

Todos os Direitos reservados.

Proibidos a produção total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio.
A violação dos direitos de autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo art. 184 do Código Penal.

PAULO CÉSAR PINTO

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade de Passo Fundo (UPF, 2008), Formação Pedagógica pelo Instituto Federal SulRiograndense (IFSUL, 2022), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Instituto de Pós-Graduação (IPOG, 2021), Mestre em Engenharia de Transportes com ênfase em Infraestrutura pela Universidade de São Paulo (USP, 2010). Membro da International Society for Concrete Pavements desde 2009. Em processo de doutoramento no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PPGCI - UFRGS). Servidor Público (engenheiro Civil) na Secretaria de Estado da Infraestrutura e Mobilidade de Santa Catarina (SIE-SC). Professor dos cursos de engenharia na Univinte-Fucap. CEO Infravia Consultoria. Experiência na área de engenharia civil e infraestrutura de transportes, com ênfase em pavimentação. Atuação em gerência de pavimentos, monitoramento e manutenção de redes pavimentadas, projeto, diagnóstico, avaliação e desempenho de pavimentos, misturas asfálticas e base cimentada para pavimentação.

APRESENTAÇÃO

Apresentam-se aspectos técnicos e de boas práticas relacionados “Às Técnicas Executivas de Pavimentos Asfálticos”.

Abordam-se características de produção de concreto asfáltico denso em usinas, bem como, seu transporte, lançamento e compactação para execução em pista. Ademais, discorre-se quanto também à execução de microrrevestimentos asfálticos.

Objetiva-se, por meio deste e-book, contribuir com publicações técnicas em engenharia civil, na área de infraestrutura viária, no que tange o atual estado da arte no Brasil de execução de misturas asfálticas densas e delgadas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 USINAS ASFÁLTICAS	8
2.1 TIPOS DE USINAS DE ASFALTO PARA MISTURAS À QUENTE.....	8
2.2 OPERAÇÕES BÁSICAS ENVOLVIDAS NA PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS À QUENTE.....	11
2.2.1 <i>Estocagem e manuseio dos materiais componentes das misturas asfálticas na área da usina.....</i>	12
2.2.2 <i>Proporcionamento e alimentação do agregado frio no secador</i>	14
2.2.3 <i>Secagem e aquecimento eficiente do agregado à temperatura apropriada</i>	15
2.2.4 <i>Controle e coleta de pó no secador.....</i>	17
2.2.5 <i>Proporcionamento, alimentação e mistura do ligante asfáltico com o agregado aquecido.....</i>	19
2.2.6 <i>Estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas asfálticas produzidas.....</i>	22
2.3 USINAS PARA MISTURAS A FRIO.....	23
3 TRANSPORTE E LANÇAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS.....	25
4 COMPACTAÇÃO.....	30
4.1 TIPOS DE ROLOS COMPACTADORES	32
4.1.1 <i>Rolos compactadores estáticos.....</i>	32
4.1.2 <i>Rolos compactadores vibratórios</i>	33
4.2 TÉCNICAS DE ROLAGEM	33
5 EXECUÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS POR PENETRAÇÃO	38
6 EXECUÇÃO DE LAMAS E MICRORREVESTIMENTOS ASFÁLTICOS	43
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	47

1

INTRODUÇÃO

O bom desempenho de revestimentos e de tratamentos superficiais asfálticos depende da utilização de procedimentos corretos em diversas etapas: projeto estrutural, adequada de materiais e formulações de proporções ou misturas que atendam os condicionantes de uso do revestimento, e uso de técnicas adequadas de produção, distribuição e execução das camadas asfálticas na pista. Este capítulo trata da produção das misturas em usinas e em veículos especiais, do transporte e distribuição na pista das misturas asfálticas ou dos materiais para tratamentos, das técnicas de densificação e acabamento, assim como de algumas técnicas de controle executivo. Como toda a indústria, na área de equipamentos de pavimentação o mercado está sempre evoluindo e o engenheiro de pavimentação deve estar atento a esse fato. Recomenda-se fortemente a busca de informações mais detalhadas sobre cada equipamento disponível nos web sites das empresas.

2

USINAS ASFÁLTICAS

A obtenção de uma mistura asfáltica envolve a associação de agregado com ligante asfáltico em proporções predeterminadas no projeto de dosagem para produzir uma massa homogênea de acordo com especificações e critérios adotados (Capítulo 5). Antes da mistura com o ligante asfáltico, o agregado deve ser composto na graduação especificada por meio de mistura de diferentes frações granulométricas.

Se o ligante a ser misturado é um cimento asfáltico de petróleo, o agregado deve ser aquecido previamente para remoção de umidade e sua temperatura elevada para que seja possível o seu envolvimento pelo ligante asfáltico. Esses procedimentos são realizados em instalações apropriadas conhecidas como usinas de asfalto, simplificação da designação, visto que se trata de usinas para a produção de misturas asfálticas a quente. Caso o ligante utilizado seja emulsão asfáltica, as usinas são para misturas a frio.

2.1 TIPOS DE USINAS DE ASFALTO PARA MISTURAS À QUENTE

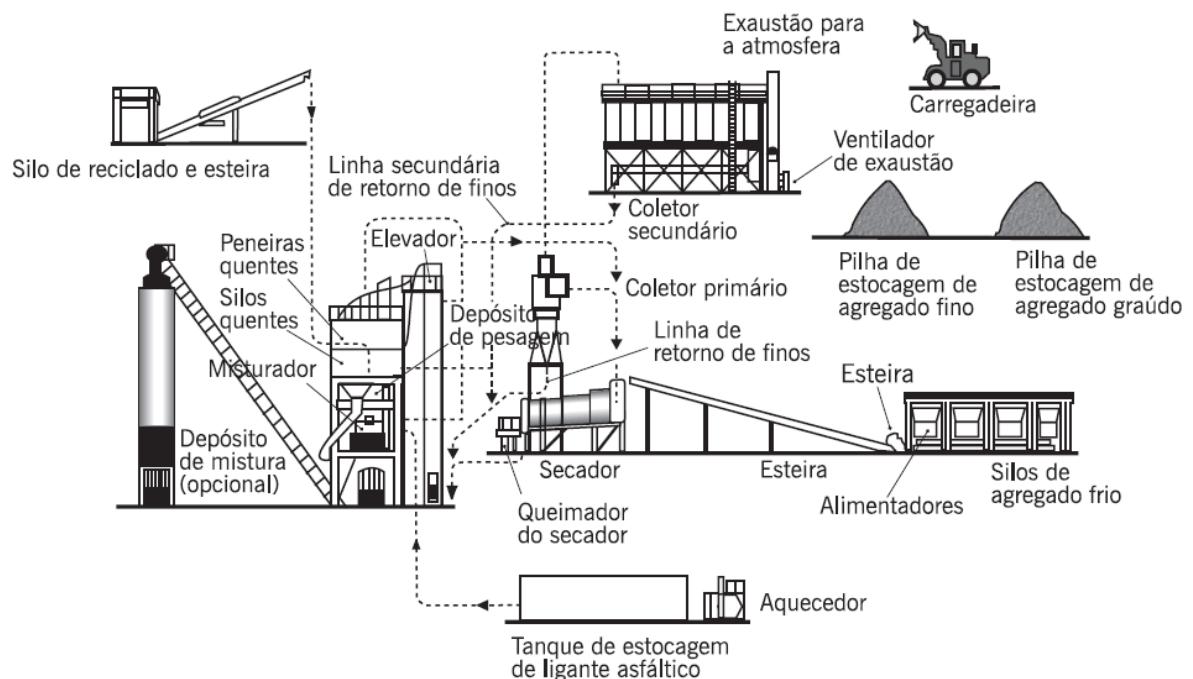
O objetivo básico das usinas de asfalto é proporcionar de forma adequada a mistura de frações de agregados, aquecer essa mistura e o ligante asfáltico, e misturar todos esses materiais, produzindo misturas asfálticas dentro de características previamente especificadas.

Uma usina de asfalto é um conjunto de equipamentos mecânicos e eletrônicos interconectados de forma a produzir misturas asfálticas. Variam em capacidade de produção e princípios de proporcionamento dos componentes, podendo ser estacionárias ou móveis.

Existem dois tipos básicos de usina de asfalto que são: a usina de produção por batelada ou gravimétrica, conforme princípio geral exposto na Figura 1, que produz quantidades unitárias de misturas asfálticas, e a usina de produção contínua ou drum-mixer, conforme a Figura 2, cuja produção é contínua, como a própria designação classifica.

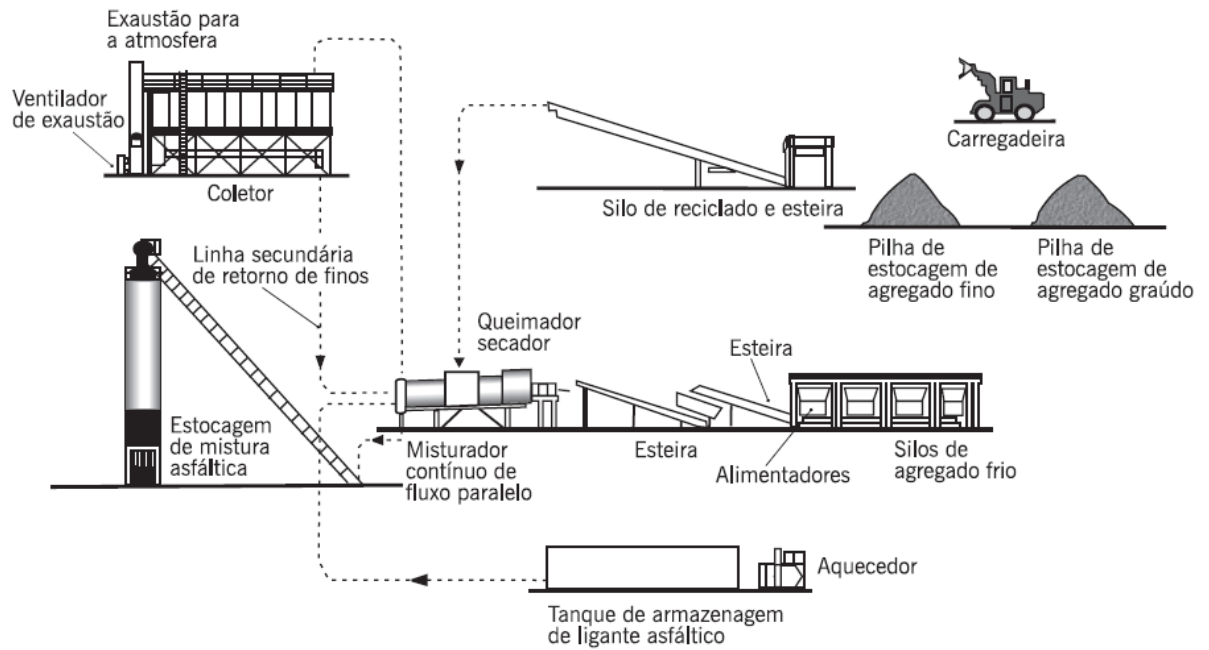
As Figuras 3 e 4 mostram exemplos dessas usinas. Os dois tipos de usinas têm condições de produzir as misturas asfálticas em uso corrente no país. Normalmente, as misturas asfálticas, mesmo com características particulares, não exigem sua produção em um tipo específico de usina, a menos das misturas recicladas, que precisam de uma certa adaptação.

Figura 1 – Representação esquemática de uma usina asfáltica por batelada



FONTE: Asphalt Institute (1998).

Figura 2 – Representação esquemática de uma usina asfáltica contínua



FONTE: Asphalt Institute (1998).

Figura 3 – Exemplo de usina asfáltica por batelada



Figura 4 – Exemplo de usina asfáltica contínua



2.2 OPERAÇÕES BÁSICAS ENVOLVIDAS NA PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS À QUENTE

As operações envolvidas na produção de misturas asfálticas a quente são as seguintes, descritas brevemente adiante:

- Estocagem e manuseio dos materiais componentes das misturas asfálticas na área da usina;
- Proporcionamento e alimentação do agregado frio no secador;
- Secagem e aquecimento eficiente do agregado à temperatura apropriada;
- Controle e coleta de pó no secador;
- Proporcionamento, alimentação e mistura do ligante asfáltico com o agregado aquecido;
- Estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas asfálticas produzidas.

2.2.1 Estocagem e manuseio dos materiais componentes das misturas asfálticas na área da usina

Os agregados devem ser manuseados e estocados de maneira a evitar contaminação e minimizar sua degradação e segregação. A área de estocagem deve ser limpa para a prevenção da contaminação do agregado. Deve ser também devidamente drenada para evitar acúmulo de umidade. Preferencialmente a estocagem de agregados deve ser feita em locais cobertos para evitar a ação de precipitação de águas – Figura 5. O ligante asfáltico deve ser estocado em quantidade suficiente para manter a operação da usina de forma regular. Geralmente dois ou mais tanques são necessários, sendo um tanque abastecedor durante a usinagem e os demais de estocagem do ligante asfáltico. A Figura 5 apresenta um exemplo de tanque horizontal de ligante asfáltico.

Figura 5 – Exemplo de estoques e silos cobertos para proteção dos materiais de uma usina



Figura 6: Exemplo de tanques horizontais para armazenamento com aquecimento de ligantes asfálticos de uma usina gravimétrica



O ligante asfáltico deve ser mantido fluido o suficiente para que possa se movimentar através dos dutos e ser utilizado na operação de usinagem. Para isso, os tanques devem possuir sistema de aquecimento através de circulação de óleo térmico ou elétrico. Nunca deve ser utilizado aquecimento através de chama em contato com o tanque ou seu conteúdo.

Faz-se necessário uma atenção especial quanto às temperaturas de estocagem e usinagem de ligantes asfálticos, pois quando superaquecidos esses materiais podem sofrer degradação térmica que por sua vez pode levar à perda das suas características aglutinantes. Na Tabela 1 estão indicadas, como exemplo de ordem de grandeza, faixas de temperaturas de estocagem e usinagem de alguns tipos de ligantes asfálticos e do agregado

Tabela 1: Exemplo de temperatura de estocagem e usinagem de alguns ligantes asfálticos e agregados (ilustrativo)

Tipo de ligante	Temperatura de estocagem do ligante, máxima, °C	Temperatura de usinagem, °C	
		Ligante	Agregado
CAP – 50/70	160	150 – 155	160 – 165
Asfalto modificado por polímero SBS 45-70/55	170	160 – 165	170 – 175
Asfalto modificado por polímero SBS 45-70/60	175	165 – 170	175 – 180
Asfalto modificado por polímero SBS 45-70/70	180	170 – 175	180 – 185
Asfalto modificado por 15,0% de borracha de pneus	185	170 – 180	180 – 185

2.2.2 Proporcionamento e alimentação do agregado frio no secador

O sistema de silos frios é um dos principais componentes de uma usina asfáltica. Ele recebe agregados frios, proporciona as diferentes frações granulométricas e conduz para o secador. São compostos por uma série de pelo menos quatro silos, que são carregados individualmente com frações de agregados provenientes da zona de estocagem, conforme mostra a Figura 7. Cuidados devem ser tomados a fim de evitar a mistura de frações granulométricas dos diferentes silos. Isto inclui o adequado dimensionamento da largura desses silos, a instalação de divisores verticais nos limites entre silos e o não sobrecarregamento dos mesmos.

Figura 7 - Exemplo de sistema de silos frios



Portas localizadas no fundo de cada silo controlam as quantidades de cada fração de agregado a ser transportada ao secador através de correia transportadora. A Figura 8 (a) mostra o controle no fundo de cada silo e a Figura 8 (b) a correia transportadora de agregados para o secador.

Figura 8: Exemplo de controle de alimentação de agregados de um silo frio e correia transportadora de agregados para o secador



2.2.3 Secagem e aquecimento eficiente do agregado à temperatura apropriada

Os agregados devidamente proporcionados provenientes dos silos frios são conduzidos ao tambor secador onde são secos e aquecidos à temperatura adequada. O secador é um cilindro rotatório com diâmetro entre 1,5m e 3,0m e comprimento entre 6,0m e 12,0m, dependendo da capacidade da usina. A Figura 9(a) mostra um exemplo de secador. O sistema possui um queimador de óleo ou gás numa extremidade e um ventilador de exaustão na outra – Figura 9(b).

Figura 9 - Exemplo de secador e sistema de aquecimento para secagem dos agregados



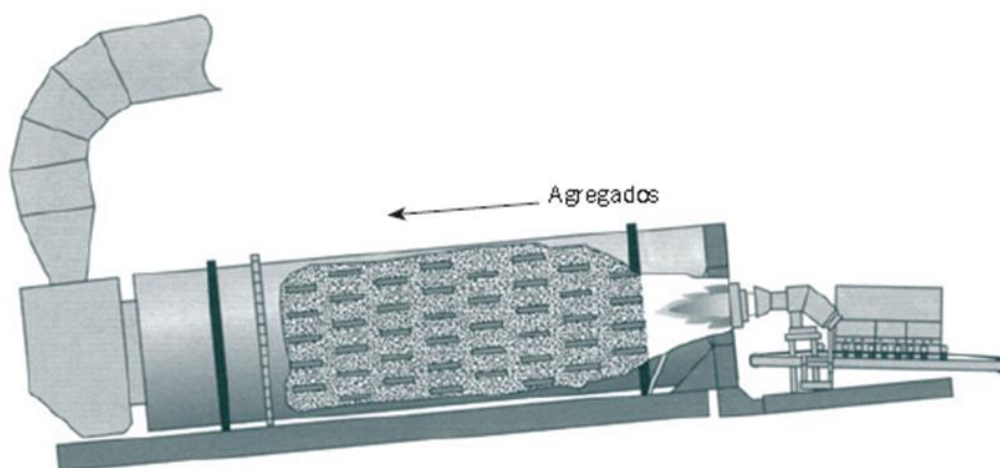
(a) Sistema de aquecimento do secador
(Foto: Abdou, 2005)



(b) Secador de agregados com ventilador de exaustão

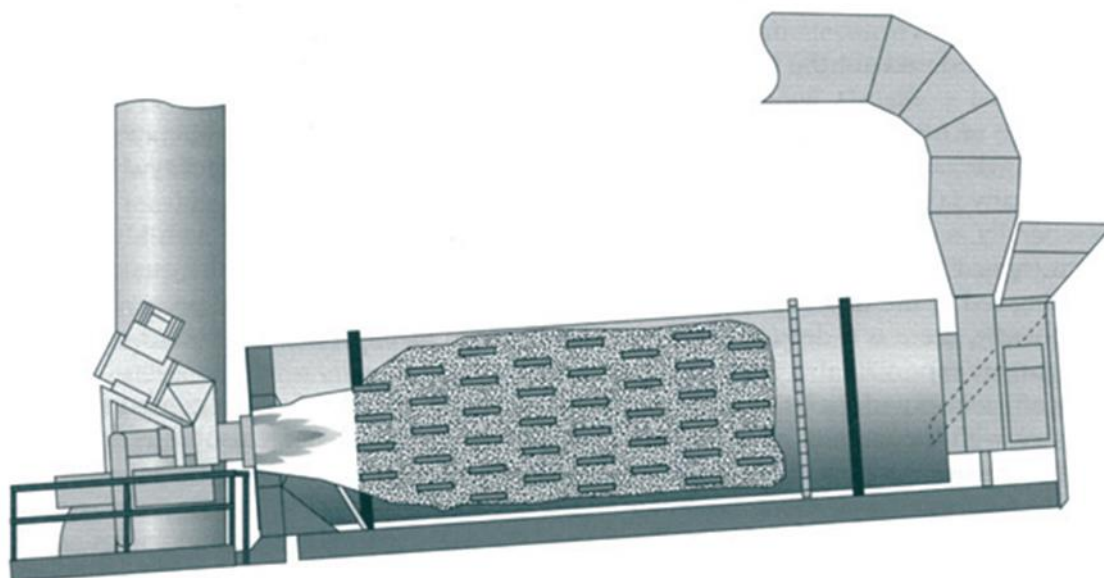
Há dois tipos básicos de secadores, diferenciados pela relação entre o fluxo de agregados e o fluxo de ar no seu interior. Nos secadores de fluxo paralelo o agregado e o ar fluem na mesma direção, conforme a Figura 10. Nesses secadores o agregado frio é introduzido no secador na mesma extremidade onde existe o queimador e movimenta-se na direção da outra extremidade. Nos secadores de contrafluxo o agregado e o fluxo de ar aquecido movimentam-se em direções opostas, conforme o esquema mostrado na Figura 11. As usinas asfálticas mais modernas são em sua grande maioria equipadas com secadores do tipo contrafluxo.

Figura 10 - Secador de fluxo paralelo



FONTE: Asphalt Institute (1998).

Figura 11 - Secador de contrafluxo



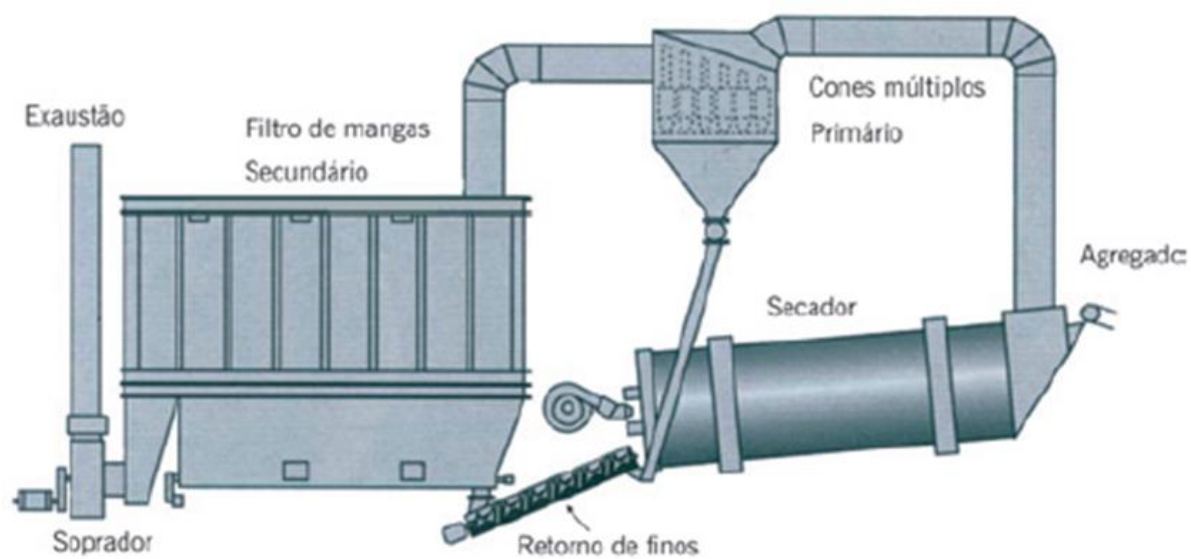
FONTE: Asphalt Institute (1998).

2.2.4 Controle e coleta de pó no secador

O ar que flui através do secador carrega com ele gases de exaustão e pequena quantidade de partículas de pó do agregado. Essas partículas devem ser recolhidas antes que sejam descarregadas na atmosfera, por meio de um sistema de controle de emissões. Esse sistema é composto, na maioria das usinas de asfalto, por coletores de pó, primários e secundários. Eles são instalados no final do secador e filtram o ar que entra no queimador e o que sai no sistema de exaustão, conforme o esquema da Figura 12 e a foto de um exemplo do sistema na Figura 13 (existem outros fabricantes de usinas no país).

O coletor primário tem como função recolher as partículas maiores de pó contidas nos gases de exaustão. Os coletores primários mais usuais são a caixa de queda e o tipo ciclone. O coletor secundário filtra e recolhe as partículas de pó mais finas. Os coletores secundários mais usuais são o filtro de mangas e o de coleta úmida. O pó recuperado neste último não pode ser reincorporado à mistura asfáltica em produção.

Figura 12 - Esquema de coletores primário e secundário



FONTE: Asphalt Institute (1998).

Figura 13 - Exemplo de sistema de coletores de pó



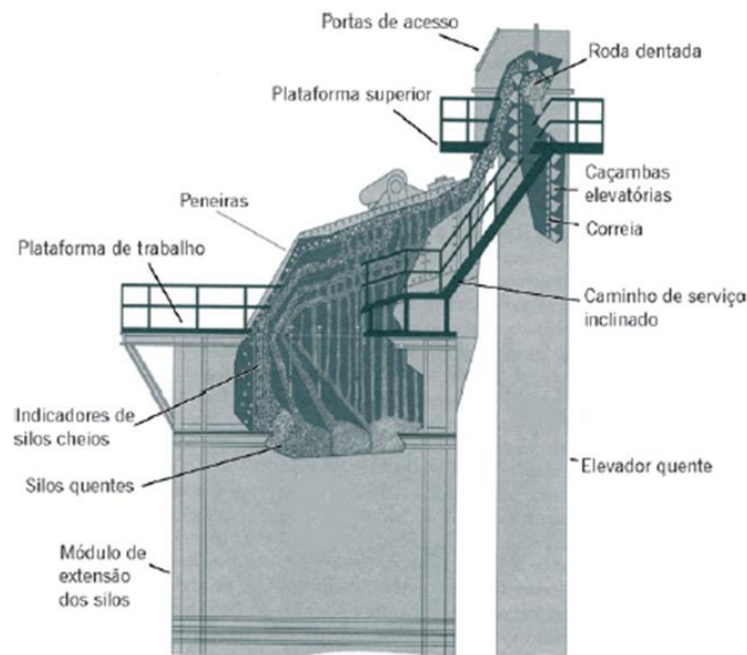
2.2.5 Proporcionamento, alimentação e mistura do ligante asfáltico com o agregado aquecido

O processo de mistura do ligante asfáltico com o agregado varia de acordo com o tipo de usina de asfalto utilizado.

Na usina de produção por batelada ou gravimétrica, o agregado seco e aquecido proveniente do secador é transportado através de um elevador e passa por uma série de peneiras que o separa em várias frações granulométricas e que são depositadas nos silos quentes, conforme mostra o esquema da Figura 14. A Figura 15 mostra um exemplo de um elevador e os silos quentes.

Frações de agregados predeterminadas são pesadas e estocadas juntas em um depósito de pesagem. Deste depósito elas são transferidas a um misturador logo abaixo, onde são misturadas com o ligante asfáltico em proporção predeterminada. A Figura 16 ilustra o processo de mistura.

Figura 14 - Esquema de unidade de peneiramento de usina asfáltica por batelada

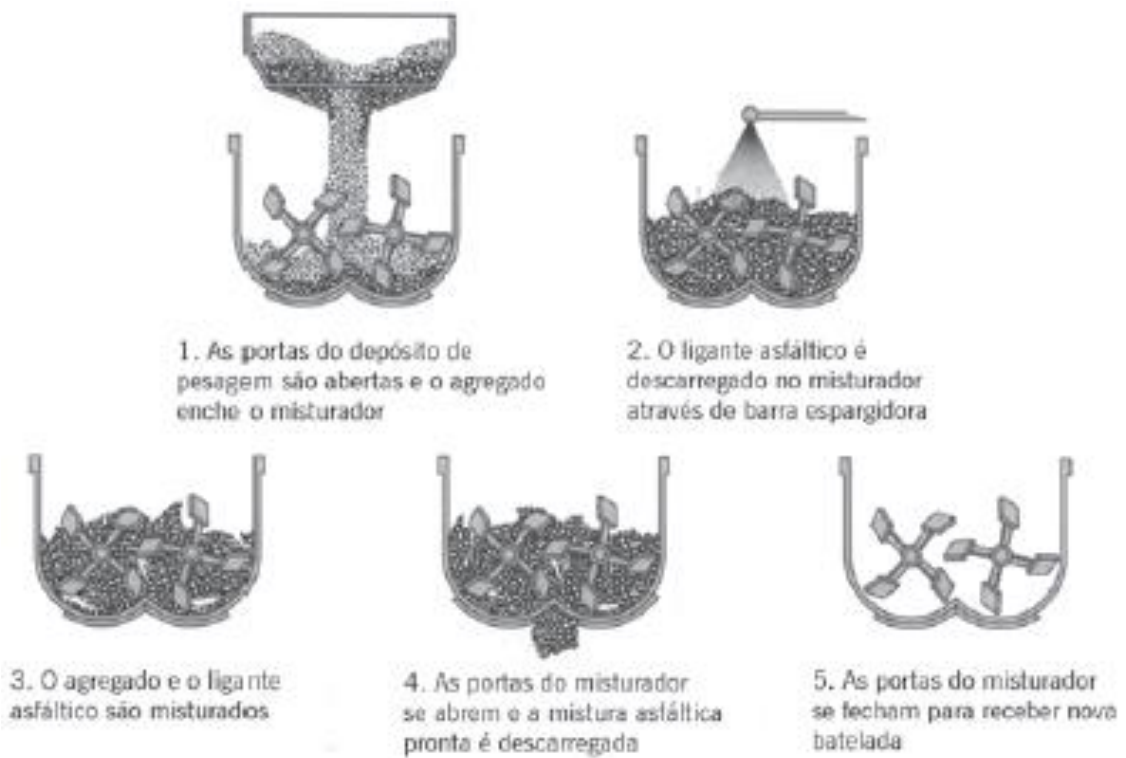


FONTE: Asphalt Institute (1998).

Figura 15 - Exemplo de um elevador de agregados aquecidos e silos quentes



Figura 16: Esquema de produção de uma batelada de mistura asfáltica

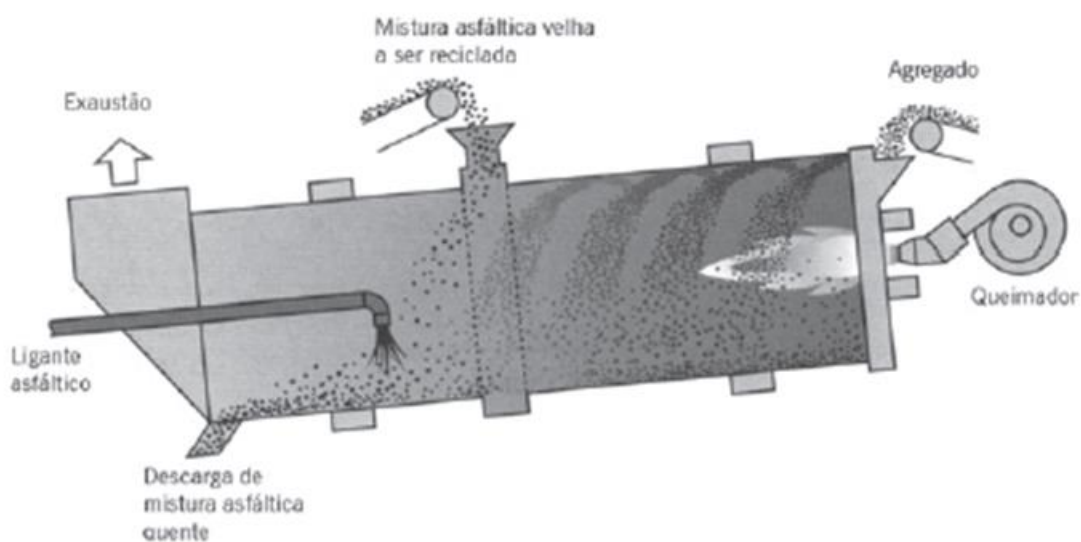


FONTE: Asphalt Institute (1998).

Na usina de produção contínua, a mistura do ligante asfáltico com agregado é realizada no próprio tambor secador, após a secagem e aquecimento do agregado, num processo contínuo. O agregado entra na zona primária do tambor e é seco e aquecido pelo calor produzido pelo queimador. Movimenta-se então para a zona secundária onde o ligante asfáltico é introduzido e vigorosamente misturado. Durante esse processo o controle efetivo da temperatura dos componentes da mistura asfáltica é fundamental para o seu desempenho futuro.

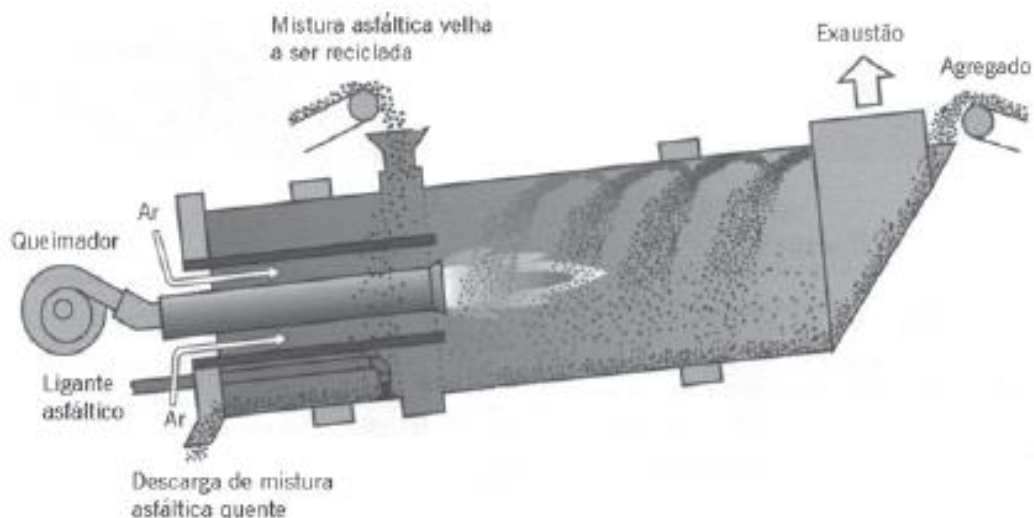
Dois são os tipos principais de tambores secadores e misturadores. No de fluxo paralelo, o agregado entra no tambor na extremidade do queimador e flui na mesma direção dos gases aquecidos. O ligante asfáltico é introduzido no último terço do tambor, juntamente com algum pó necessário à mistura asfáltica, conforme a Figura 17. No de contrafluxo o agregado entra na extremidade oposta ao queimador e flui na direção oposta aos gases aquecidos. O queimador é posicionado de modo que a injeção de ligante e a mistura deste com o agregado ocorram fora de sua zona de influência, conforme a Figura 18.

Figura 17 - Esquema de tambor secador-misturador de fluxo paralelo em usina contínua



FONTE: Asphalt Institute (1998).

Figura 18 - Esquema de tambor secador-misturador de contrafluxo de usina contínua



FONTE: Asphalt Institute (1998)

Esses tambores secadores das Figuras 17 e 18 admitem a introdução de material fresado para a sua reciclagem, devidamente afastado da chama para evitar danos. Existem variantes dos dois tipos principais de tambores secadores e misturadores, como o de cilindro duplo onde o agregado é seco e aquecido em um tambor de contrafluxo e a mistura com o ligante asfáltico ocorre em um tambor de maior diâmetro que cobre dois terços do tambor interno. Há o sistema com tambor triplo de contrafluxo onde as fases de secagem, aquecimento e mistura são realizadas em três zonas distintas. E ainda o de tambor duplo, onde é utilizado um tambor de contrafluxo para secagem e aquecimento do agregado e um misturador rotatório no qual o ligante asfáltico e os finos são introduzidos e misturados.

2.2.6 Estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas asfálticas produzidas

A maioria das usinas asfálticas contínuas é equipada com silos de estocagem ou com depósitos de controle de produção das misturas asfálticas. Nessas, a prevenção de segregação da mistura asfáltica deve ser constante. Um sistema de

pesagem deve ser conectado aos silos para controle de quantidade de mistura asfáltica a ser carregada em cada caminhão transportador.

2.3 USINAS PARA MISTURAS A FRIO

As misturas dos agregados com emulsões asfálticas são realizadas em usinas que podem ser estacionárias ou móveis, com capacidade de produção de 30tf/h a 600tf/h. Essas usinas são mais simples por não terem necessidade de aquecimento nem do agregado, nem do ligante.

Geralmente as usinas estacionárias utilizadas são aquelas empregadas também para produzir misturas de solos, britas, solo-cimento etc. As de maior capacidade de produção possuem silos individuais para os agregados com comportas reguláveis, que descarregam os agregados em uma correia transportadora que os conduz ao misturador, onde é injetada a emulsão asfáltica na dosagem previamente estabelecida. A Figura 19 apresenta um exemplo de uma usina estacionária.

As usinas do tipo móvel são montadas sobre um chassi único e devido à sua funcionalidade podem ser colocadas em operação em poucas horas. Um exemplo de uma usina desse tipo está na Figura 20. Há vários fabricantes de usinas de misturas a frio no país.

Figura 19 - Exemplo de usina estacionária para produção de misturas a frio

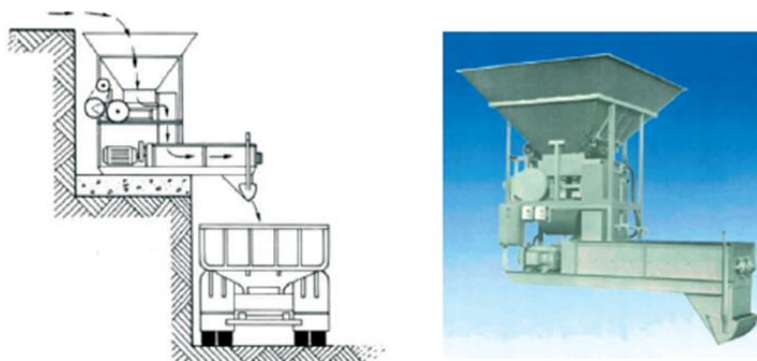


Figura 20 - Exemplo de usina de pré-misturado a frio móvel



3

TRANSPORTE E LANÇAMENTO DE MISTURAS ASFÁLTICAS

As misturas asfálticas são levadas ao local de execução do pavimento por meio de caminhões transportadores geralmente com balsa traseira. O número de caminhões necessário é determinado por alguns fatores tais como: a velocidade de produção da mistura asfáltica na usina; a distância de transporte; o tipo de tráfego no percurso e o tempo estimado para descarregamento. O número de caminhões necessários para manter constante o lançamento da mistura asfáltica na pista pode ser estimado considerando-se o tempo de ida e volta dividido pelo tempo de carregamento de cada caminhão mais um.

As principais razões que podem justificar a rejeição de cargas de mistura asfáltica transportadas para a obra, são:

- Temperatura excessiva – o aquecimento em excesso da mistura é normalmente indicado por emissão de fumaça de coloração azul. A temperatura deve ser verificada imediatamente e se ultrapassar os limites especificados a carga deve ser rejeitada;
- Temperatura baixa – a mistura asfáltica apresenta aspecto endurecido ou recobrimento irregular das partículas maiores do agregado. A temperatura deve ser verificada imediatamente e se for menor que os limites especificados a carga deve ser rejeitada;
- Excesso de ligante asfáltico – a mistura asfáltica apresenta aparência de montes com picos abatidos na caçamba do caminhão e aspecto brilhante;
- Falta de ligante asfáltico – a mistura asfáltica apresenta aspecto opaco, sem qualquer brilho e granular;
- Mistura não-homogênea – são observados pontos onde o agregado encontra-se parcialmente recoberto e de aspecto opaco e pontos onde a mistura apresenta-se brilhante;

- Excesso de agregado graúdo em relação ao projeto de dosagem – misturas asfálticas com excesso de agregado graúdo apresentam baixa trabalhabilidade e aparência granular após compactação;
- Excesso de agregado miúdo – misturas asfálticas com excesso de agregado miúdo apresentam textura diferente daquelas com agregados apropriadamente graduados após compactação e aspecto de falta de ligante asfáltico;
- Excesso de umidade – a liberação de vapor d’água durante o processo de descarregamento do caminhão transportador é indicativa de presença de umidade na mistura asfáltica. Essa apresenta aspecto brilhante e pode-se observar a formação de bolhas. A umidade em excesso faz com que a mistura asfáltica apresente comportamento como se tivesse ligante asfáltico em excesso;
- Segregação – a segregação dos agregados da mistura asfáltica pode ocorrer em algum ponto antes da mistura ser lançada no local de execução da camada ou durante o processo de lançamento devido ao manuseio de maneira indevida. Sua causa deve ser corrigida na origem. A segregação pode ser potencializada pela graduação escolhida na dosagem (excesso de agregados graúdos) ou pela diferença de temperatura nos diversos componentes da massa asfáltica;
- Contaminação – contato com substâncias indesejáveis normalmente devido à má limpeza das caçambas dos caminhões transportadores. Se verificada em pequena escala pode ser removida, caso contrário a carga deve ser rejeitada. O lançamento de uma mistura asfáltica e o início de um serviço de compactação de uma camada de revestimento asfáltico devem ser precedidos por um planejamento onde são considerados detalhes importantes no processo, como por exemplo:
 - Continuidade e sequência de operações;
 - Número de vibroacabadoras necessárias para a execução do serviço;
 - Número e tipos de rolos compactadores necessários;
 - Número de caminhões transportadores necessários;
 - A cadeia de comando para dar e receber instruções;
 - Razões para possível rejeição de mistura asfáltica;

- Condições climáticas e de temperatura;
- Controle de tráfego.

Além da consideração desses detalhes, devem ser realizadas todas as preparações e inspeções necessárias para garantir seu sucesso. Normalmente os seguintes itens são verificados:

- Superfície da base ou revestimento existente apropriadamente preparada (imprimação ou pintura de ligação executadas);
- Plano de execução do serviço;
- Sincronia apropriada de produção da mistura asfáltica, lançamento e compactação;
- Equipamentos em boas condições e calibrados;
- Meios para pesagem da mistura asfáltica;
- Planejamento de amostragem e ensaios de controle.

A mistura asfáltica deve ser lançada em camada uniforme de espessura e seção transversal definidas, pronta para a compactação. O lançamento é realizado por vibroacabadoras que sejam capazes de executar camadas de menos de 25mm até aproximadamente 300mm de espessura, em larguras ajustáveis de acordo com o serviço. As velocidades de deslocamento são reguláveis e podem atingir até 20m/min. As vibroacabadoras são compostas por duas unidades: a tratora e a de nivelamento.

A unidade tratora compreende o motor, as transmissões e os controles, o silo de carga com laterais basculantes, as barras alimentadoras, as roscas distribuidoras e o posto de condução. A unidade tratora é apoiada sobre um par de esteiras ou sobre pneus. Esta unidade tem como funções o deslocamento da vibroacabadora e o recebimento, condução e lançamento uniforme da carga de mistura asfáltica à frente da unidade de nivelamento.

A unidade de nivelamento é formada por uma mesa flutuante e vibratória ligada à unidade tratora por braços de nivelamento fixados através de articulações

próximas à parte central do equipamento. Suas funções são nivelar e pré-compactar a mistura asfáltica sobre a superfície em que foi lançada, de acordo com especificações de geometria previamente definidas.

As Figuras 21 e 22 apresentam tipos de vibroacabadoras e seus componentes e a Figura 23 mostra um exemplo de vibroacabadora.

Figura 21 - Esquema de componentes de uma vibroacabadora de pneus

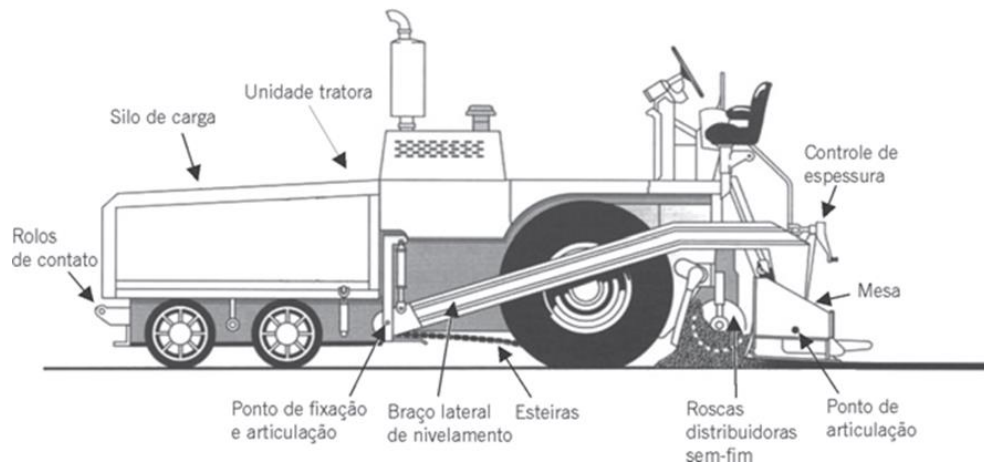


Figura 22 - Esquema do fluxo de mistura asfáltica em uma vibroacabadora de esteiras

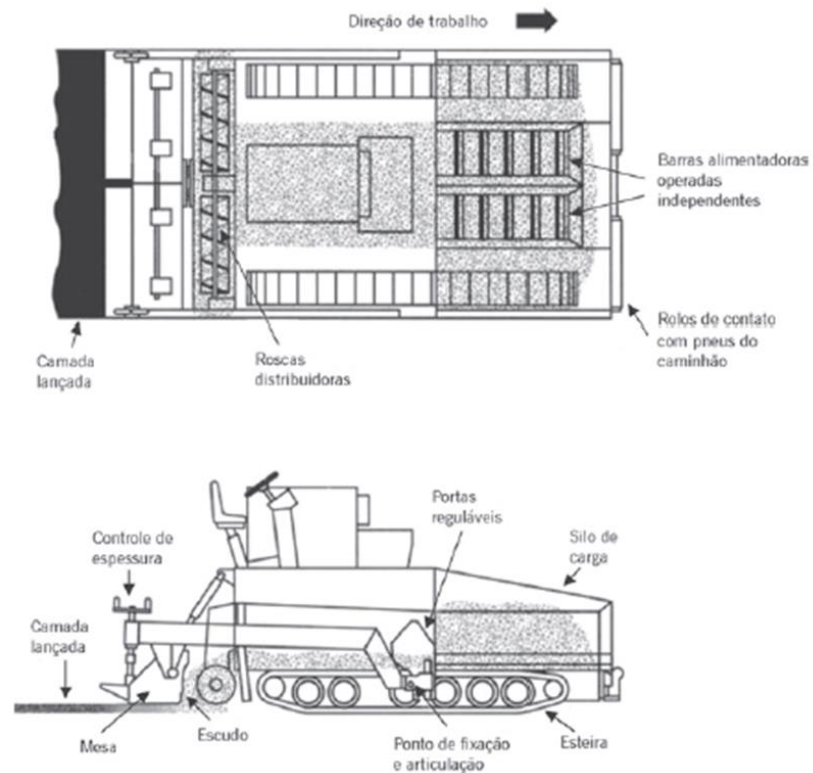


Figura 23 - Exemplo de um tipo de vibroacabadora



4

COMPACTAÇÃO

A compactação de uma camada asfáltica de revestimento aumenta a estabilidade da mistura asfáltica, reduz seu índice de vazios, proporciona uma superfície suave e desempenada e aumenta sua vida útil. No país, a espessura máxima de mistura asfáltica compactada em uma única vez é de 100mm e está relacionada com a eficiência dos equipamentos de compactação disponíveis. Usualmente essas espessuras em uma única camada de compactação não ultrapassam 75 a 80mm.

Para que a compactação possa ser executada de maneira eficiente, duas condições fundamentais devem estar presentes: existência de confinamento ao compactar e temperatura adequada da mistura asfáltica.

O confinamento é adequado quando a mistura asfáltica a ser compactada é contida em todas as direções de modo que ela possa ser comprimida, estruturando os agregados e reduzindo o volume de vazios. Exemplo de excelentes condições de confinamento ocorre em laboratório quando uma mistura asfáltica é compactada no interior de um molde.

O molde e o compactador confinam a mistura em todas as direções, e esta é compactada devido a não ser possível escapar da ação do esforço de compactação. No campo, a obtenção do confinamento adequado não é tão simples. Quando uma camada asfáltica é compactada, o confinamento a partir de baixo é obtido pela presença da camada subjacente, que deve ser estável. O confinamento na superfície é obtido pelo contato dos equipamentos de compactação durante sua execução. O confinamento lateral é interno, proveniente da mistura asfáltica circundante sendo compactada, que deve para isto ser resistente à fluência e ao escorregamento.

Misturas asfálticas com temperatura elevada tendem a fluir e deformar-se devido a maior lubrificação e menor ligação exercida pelo ligante asfáltico aquecido

em excesso. Contrariamente, se a temperatura for muito baixa o ligante asfáltico torna-se plástico e pegajoso, dificultando a compressão da mistura e a obtenção de um estado mais denso. Cada mistura asfáltica tem uma faixa de temperatura de compactação própria, relacionada ao tipo de ligante asfáltico utilizado. Geralmente é obtida maior eficiência na compactação quando se trabalha com temperaturas próximas do limite superior desta faixa.

A verificação se a compactação foi executada de forma apropriada é feita utilizando-se dois ensaios que determinam o grau de compactação (razão entre a massa específica aparente da mistura compactada e a massa específica aparente de projeto) e verificam a homogeneidade e a suavidade da superfície da camada compactada. A massa específica pode ser determinada de duas maneiras: pela remoção de corpos-de-prova da camada compactada e respectivas análises em laboratório, ou pela utilização de densímetros com fontes radioativas ou eletromagnéticas, conforme exemplos da Figura 24, que são posicionados sobre a superfície da camada, fornecendo em poucos segundos e automaticamente a densidade, que corresponde numericamente à massa específica da mistura asfáltica no local de posicionamento do equipamento. A suavidade (regularidade) e a homogeneidade da superfície são verificadas por meio de réguas ou equipamentos do tipo perfilômetros.

Figura 24: Exemplos de densímetros para determinação da massa específica in situ



(a) Densímetro com fonte radioativa



(b) Densímetro eletromagnético

O processo de execução de uma camada asfáltica geralmente é compreendido por duas fases: a rolagem de compactação e a rolagem de acabamento. É na fase de rolagem de compactação que se alcança a densidade, a impermeabilidade e grande parte da suavidade superficial. Na rolagem de acabamento são corrigidas marcas deixadas na superfície da camada pela fase de rolagem anterior.

4.1 TIPOS DE ROLOS COMPACTADORES

4.1.1 Rolos compactadores estáticos

A compactação obtida por meio dos rolos estáticos é devida ao seu peso próprio. Em alguns rolos compactadores este peso pode ser aumentado pela utilização de lastros, que consiste em pesos adicionais inseridos dentro dos tambores. Três são os tipos de rolos compactadores estáticos: de pneus, em tandem liso e de três rodas liso. Com o rolo de pneus obtém-se um ajuste adicional pela possibilidade de variação da pressão dos pneus. Na Figura 25 são mostrados exemplos de rolo de pneus e rolo tandem liso. Há vários fabricantes e importadores no país.

Figura 25 - Exemplos de rolo de pneus e rolo tandem liso



4.1.2 Rolos compactadores vibratórios

Os rolos vibratórios são compostos por um ou dois tambores de aço com pesos giratórios.

Estes pesos são os responsáveis pela vibração dos tambores e criam forças dinâmicas que, somadas ao seu peso próprio, aumentam o esforço de compactação. Na Figura 26 é mostrado um rolo vibratório; ressalta-se que existem outros fabricantes ou importadores no país.

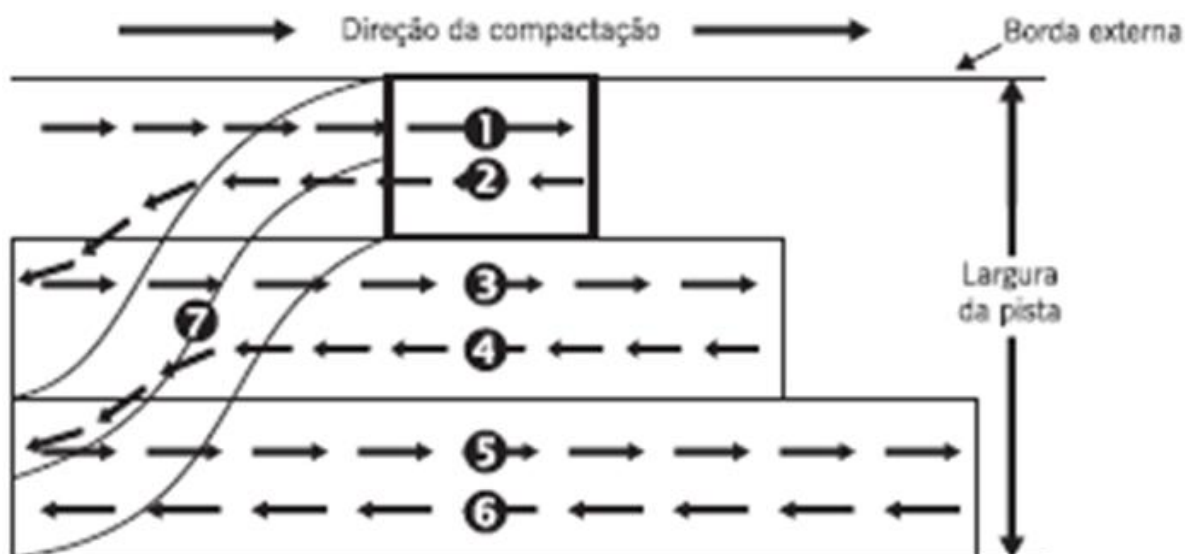
Figura 26 - Exemplo de rolo vibratório



4.2 TÉCNICAS DE ROLAGEM

A compactação eficiente é obtida a partir de uma correta escolha do padrão de rolagem a ser utilizado, conforme esquematizado na Figura 27. A figura apresenta a sequência de rolagem (1 a 6) a partir de uma borda externa. Com isso é alcançada a uniformidade e a eficiência necessárias para se obter a densidade e a suavidade superficial de acordo com as especificações e com volume de produção adequado.

Figura 27 - Exemplo de padrão de rolagem de uma camada de mistura asfáltica



A escolha do padrão de rolagem adequado deve ser realizada através da execução de uma pista-teste com monitoramento de densidade por meio de densímetros. Nesta pista teste devem ser definidos quatro parâmetros:

- Número de passagens necessárias para uma cobertura da largura da faixa ou pista em execução;
- Número de repetições necessárias para alcançar o grau de compactação de projeto;
- Velocidade de rolagem;
- Faixa de temperatura correta de aplicação e rolagem.

Para determinar quantas passagens são necessárias para cobrir a largura da pista uma vez, deve-se comparar a largura do rolo de compactação a ser utilizado com a largura da pista, permitindo-se uma sobreposição mínima de 150mm, conforme a Figura 28, até metade da largura do rolo compactador.

Se existir mudança de inclinação transversal da pista no eixo longitudinal, o padrão mostrado na Figura 27 deverá ser modificado de forma a se ter o mesmo número de passagens em cada tramo inclinado, conforme a Figura 29.

Se a camada a ser compactada é espessa e não há confinamento lateral, para evitar o escorregamento lateral da mistura asfáltica no limite da camada, deve-se ajustar as passagens de maneira que a primeira seja realizada próxima dessa extremidade, mas a aproximadamente 300mm para conferir confinamento, conforme mostra a Figura 30.

Para obter-se uma compactação eficiente é necessário que a largura da pista seja coberta pelos rolos compactadores tantas vezes quantas forem necessárias para que o grau de compactação desejado seja atingido, sem que a temperatura da mistura asfáltica alcance valores abaixo do mínimo correspondente à faixa de trabalho. Para isto é necessário que os rolos compactadores trabalhem o mais próximo possível da vibroacabadora.

São vários os fatores que influem na temperatura da mistura e determinam o tempo necessário de rolagem, conforme a Tabela 2.

Figura 28 - Definição do padrão de rolagem

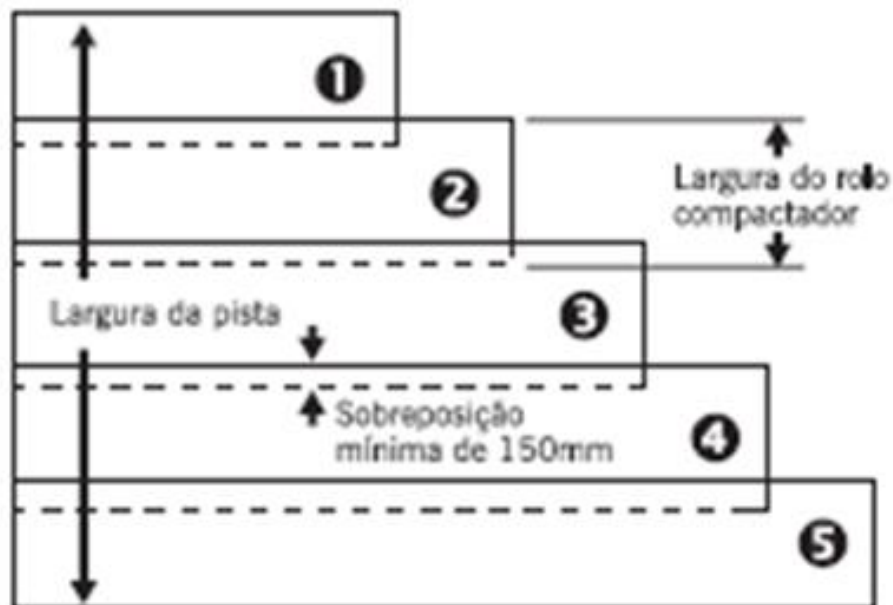


Figura 29: Esquema de padrão de rolagem em pista com mudança de inclinação transversal ao eixo longitudinal

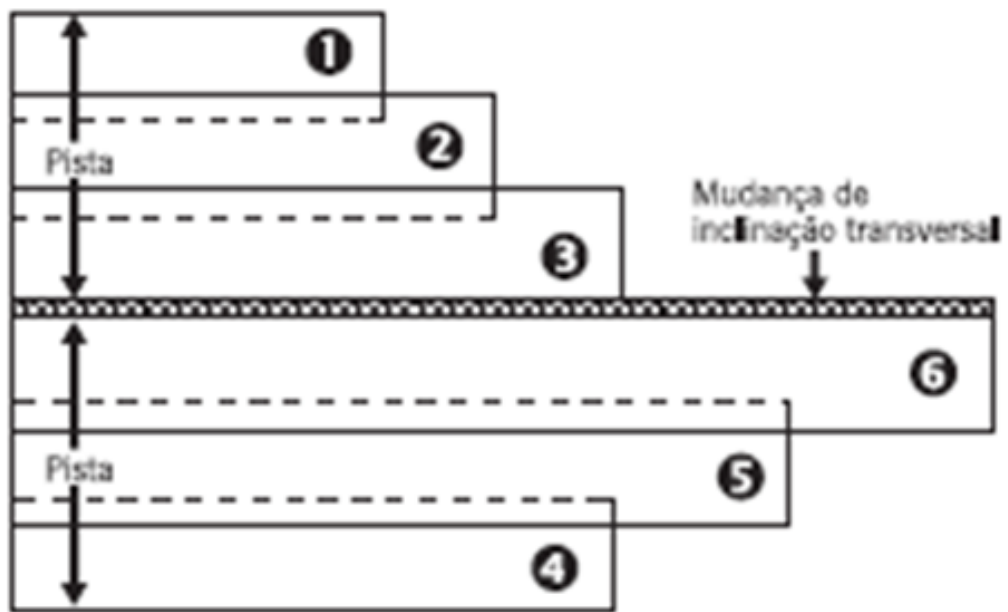


Figura 30: Esquema de padrão de rolagem em pistas com extremidade desconfiada

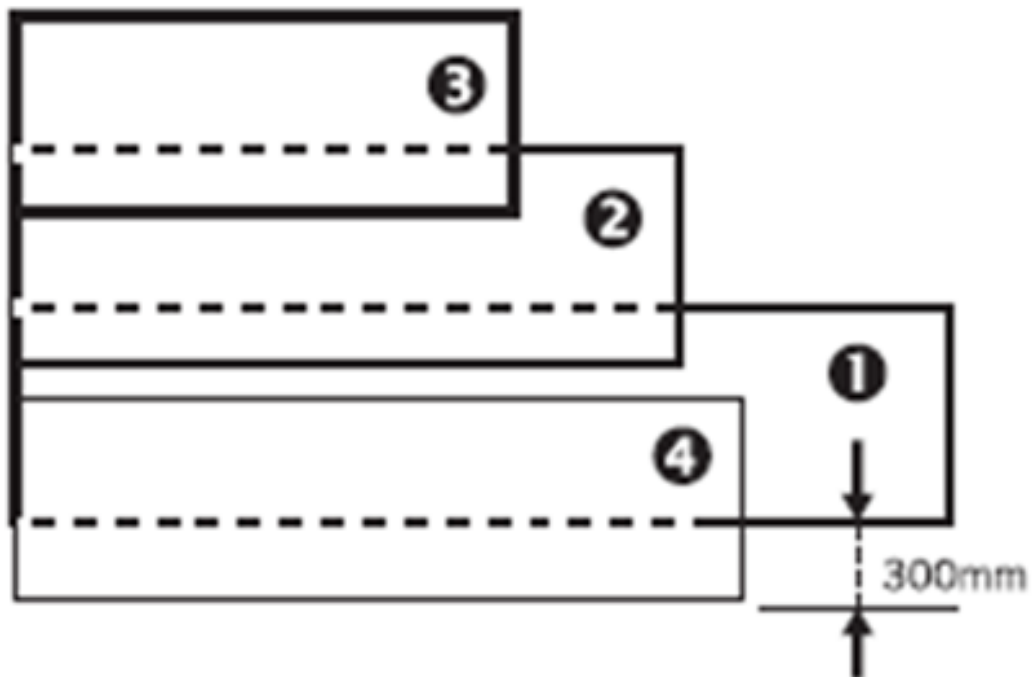


Tabela 2 - Fatores que afetam o tempo de rolagem

Principais fatores que afetam o tempo de rolagem	Permite mais tempo	Permite menos tempo
Espessura da camada em execução	Espessa	Delgada
Temperatura da mistura em compactação	Alta	Baixa
Temperatura da superfície da camada subjacente	Alta	Baixa

A rolagem de compactação pode ser iniciada com rolos compactadores vibratórios ou rolos tandem lisos estáticos e em seguida são utilizados os rolos de pneus. Em algumas obras, inicia-se diretamente com os rolos de pneus. O número de rolos a serem utilizados deve ser o necessário para a obtenção do grau de compactação desejado, com a mistura asfáltica mantendo sua temperatura dentro da faixa de trabalho. A rolagem de acabamento é executada com rolos tandem lisos estáticos.

Na execução de camadas com misturas asfálticas com agregados de granulometria descontínua, a rolagem é realizada somente com o rolo tandem liso estático, pois é fundamental evitar a segregação durante o processo e também manter a estrutura pétreo desejada na camada compactada.

5

EXECUÇÃO DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS POR PENETRAÇÃO

A execução de tratamentos superficiais por penetração é realizada por meio da combinação de um caminhão espargidor, responsável pela distribuição do ligante asfáltico, com um distribuidor de agregados, conforme mostrado na Figura 31. O caminhão espargidor aplica o ligante asfáltico por meio de bicos espargidores instalados em uma barra transversal, que pode ser vista na Figura 31(a). É necessária a limpeza e a regulagem dos bicos antes do início de cada operação do caminhão espargidor, pois a uniformidade e a regularidade da aplicação do ligante são fundamentais no desempenho do revestimento executado.

Atualmente o equipamento mais indicado para esse tipo de serviço é o que está mostrado na Figura 32, que aplica o ligante asfáltico e o agregado, em sequência, de forma homogênea e controlada, obtendo-se uma adequada uniformidade da camada executada.

Para isso é necessário que o equipamento esteja devidamente ajustado para aplicar o ligante asfáltico e o agregado nas proporções definidas previamente e também calibrado adequadamente e com capacidade de operação uniforme de todos seus sistemas.

Normalmente os tratamentos superficiais por penetração são executados na forma invertida conforme mostrado nas Figuras 33 e 34. Inicialmente deve ser feita uma varredura da pista (imprimada, no caso de aplicação sobre a base) para eliminar todas as partículas de pó. Em seguida é aplicado o ligante asfáltico e, imediatamente após, o agregado, ambos na quantidade indicada no projeto. A temperatura para aplicação do ligante é determinada em função da relação viscosidade-temperatura:

- para cimento asfáltico – 20 a 60SSF (segundos Saybolt-Furol);

- emulsão asfáltica – 20 a 100SSF, no caso de RR-1C e 100 a 250SSF, em se tratando da RR-2C.

Figura 31 - Exemplo das etapas de construção de um tratamento superficial



Figura 32 - Exemplos de equipamentos multidistribuidores para execução de tratamentos superficiais



Figura 33 - Sequência esquemática de construção de um tratamento superficial



Figura 34 - Exemplo de aplicação de tratamento superficial por penetração invertida



(a) Demarcação do início de aplicação de ligante asfáltico



(b) Caminhão espalhador



(c) Distribuição de camada de agregado



(d) Detalhe da distribuição de agregado

Geralmente os serviços de tratamento são realizados com emulsão do tipo RR-2C que pode ser modificada ou não por polímeros SBR ou SBS. A compressão do agregado é realizada imediatamente após o seu lançamento na pista. Ela deve começar pelas bordas e progredir para o eixo, nos trechos em tangente e, nas curvas, deverá progredir sempre da borda mais baixa para a borda mais alta, sendo cada passagem do rolo recoberta na vez subsequente em, pelo menos, metade da largura deste.

O número de passadas depende das características do rolo compressor, do substrato, do agregado e do ligante. É necessária uma avaliação subjetiva, por inspeção visual, do resultado da compressão de um trecho-teste para a determinação de qual o procedimento mais adequado de execução e o número ótimo de passadas do rolo.

Como a compressão num tratamento superficial por penetração não é tão crítica como a compactação nas misturas asfálticas a quente, pode-se considerar que o número de passadas necessário deve ser tal que não se perceba mais o rearranjo significativo das partículas nem o sulcamento ou outra marcação pelo rolo compressor. Em agregados com baixa resistência à abrasão, faz-se necessária a limitação da compressão para evitar a quebra das partículas. O tipo de rolo a ser utilizado bem como a ordem de rolagem são geralmente recomendados na especificação de serviço do órgão responsável, podendo ser utilizados rolo tandem liso estático, rolo de pneu e/ou rolo conjugado. Após a compressão da camada, obtida a fixação ideal do agregado, faz-se uma varredura do material solto.

No caso de um tratamento superficial duplo executa-se a segunda camada de maneira idêntica à primeira. Em se tratando de um tratamento superficial triplo, o mesmo procedimento é repetido mais uma vez para a execução da terceira camada. Pode-se aplicar uma capa selante sobre os tratamentos superficiais, sendo o ligante dessa capa quase sempre uma emulsão asfáltica, freqüentemente diluída com água. Em seguida à aplicação da emulsão, ela é coberta por agregado miúdo (areia ou pó-de-pedra) e realizada a compressão. Antes de aplicar o ligante, é aconselhável a

passagem de vassoura de arrasto (sem contrapeso) sobre a última camada de agregado do tratamento, para melhor penetração da emulsão.

A liberação ao tráfego, no caso de se usar como ligante o cimento asfáltico, é permitida após o término da compactação. Quando se usa emulsão asfáltica como ligante, é aconselhável que a pista fique fechada até a ruptura e cura total desta, o que se dá em algumas horas.

6

EXECUÇÃO DE LAMAS E MICRORREVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

As lamas asfálticas são misturas de agregado miúdo, fíler (cal hidratada ou cimento Portland), água, aditivo (em casos específicos) e emulsão asfáltica. São aplicadas por usinas móveis como a da Figura 35, que possui depósitos para os constituintes, misturador e mesa ou caixa distribuidora. A Figura 36 apresenta dois exemplos de aplicação de lama asfáltica.

Figura 35 - Exemplo de equipamento para produção e aplicação de lama asfáltica



Figura 36 - Exemplos de aplicação de lama asfáltica



Assim como as lamas asfálticas, os microrrevestimentos a frio são misturas de agregado miúdo, fíler (cal hidratado ou cimento Portland), água, aditivo e emulsão asfáltica. A principal diferença entre ambos é o tipo de emulsão asfáltica utilizada: enquanto na lama asfáltica é utilizada uma emulsão de ruptura lenta convencional, no microrrevestimento a frio a emulsão deve ser de ruptura controlada modificada por polímero.

As usinas móveis para produção e aplicação de lama asfáltica geralmente não possuem depósito para armazenamento de aditivo controlador de ruptura. A mistura produzida com emulsão de ruptura lenta convencional não apresenta, necessariamente, um tempo preestabelecido para a ruptura da emulsão e cura da mistura, evaporação de toda a água e liberação ao tráfego, tempo este que pode ser de 4 a 6 horas.

No microrrevestimento a frio com emulsão de ruptura controlada, é necessária a utilização de aditivos retardadores que tem o propósito de evitar a ruptura prematura da emulsão na caixa distribuidora ou aditivos aceleradores que são responsáveis em auxiliar na cura da mistura após a aplicação na pista. A usina móvel de microrrevestimento a frio difere da usina móvel de lama asfáltica pela presença de um depósito desses aditivos e de uma caixa distribuidora, dotada de uma rosca sem-fim com a função de levar a mistura de forma mais rápida aos pontos laterais da caixa – Figura 37.

Figura 37: Exemplos de equipamento e execução de microrrevestimento a frio



Deve ser realizada uma regulagem prévia das taxas de cada componente da mistura de modo a assegurar o perfeito controle da dosagem dos materiais conforme projeto de laboratório. A mistura ocorre na seguinte sequência:

- a) O agregado cai do silo numa esteira que o leva até a parte de trás da usina móvel numa velocidade previamente estabelecida.
- b) O fíler é dosado, numa taxa que geralmente varia de 0,5 a 1,5% sobre o total de agregado, logo antes do agregado cair no misturador (pug-mill), onde é adicionada a água já misturada com o aditivo (se necessário). A quantidade de água ideal é aquela na qual é obtida uma consistência uniforme da mistura de modo a facilitar a sua distribuição pela caixa. A quantidade de aditivo pode variar atingindo até 1,0%, dependendo das características da emulsão, agregado, temperatura de pista e condições climáticas.
- c) Logo em seguida, após a total mistura dos componentes anteriores, é adicionada a emulsão convencional (no caso da lama asfáltica) ou modificada por polímeros (no caso do microrrevestimento a frio).
- d) A mistura pronta cai numa caixa de distribuição que tem o objetivo de realizar, de forma contínua e homogênea, o espalhamento da mistura asfáltica sobre toda superfície a ser revestida. A largura da caixa de distribuição é regulável e varia de acordo com a largura da faixa de rolamento, algumas podendo chegar a até 4,0m.

Um tempo de mistura adequado deve ser aquele que permita que a mistura asfáltica seja conduzida do meio até os extremos da caixa distribuidora (trave) sem que ela rompa.

Na recuperação de revestimentos asfálticos com o cape seal, o tratamento superficial simples é responsável pela inibição da reflexão de pequenas trincas no pavimento existente, além de conferir características de flexibilidade e suporte ao sistema. O microrrevestimento a frio diminui o tempo para liberação ao tráfego (1,5 a 2 horas) e tem a função de reduzir a rugosidade excessiva do tratamento, promovendo uma característica ideal de macrotextura da superfície que garanta a

segurança sem comprometer o conforto do usuário. Na Figura 38 estão apresentadas as etapas de execução de um serviço típico de cape seal.

Figura 38 - Etapas da execução de cape seal



7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme foi mencionado na introdução, o bom desempenho de revestimentos e de tratamentos superficiais asfálticos depende, entre outros aspectos, do uso de técnicas adequadas de produção, distribuição, execução e controle de execução das camadas asfálticas na pista.

Há vários anos vêm sendo produzidos e utilizados equipamentos com recursos que possibilitam o aprimoramento das técnicas envolvidas na execução. São usinas asfálticas com controles automatizados de fluxo de materiais, de pesagem e de temperaturas, vibroacabadoras capazes de conferir um lançamento de misturas asfálticas mais regular e uniforme e pré-adensadas, unidades capazes de executar tratamentos superficiais por penetração e microrrevestimentos de forma automatizada, equipamentos de compactação com eficiência aumentada e equipamentos que permitem o controle e o acompanhamento da evolução do grau de compactação de camadas durante a sua execução, e não apenas uma verificação posterior através de extração de corpos-de-prova.

O uso correto e o conseqüente bom desempenho destes equipamentos só é alcançado a partir do domínio pleno de seu funcionamento pelos operadores e de uma preocupação constante com manutenção e calibração de suas várias partes ou sistemas.

REFERÊNCIAS

ABEDA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. **Manual básico de emulsões asfálticas**. Rio de Janeiro: ABEDA, 2001.

ANTOSCZEZEM JR., J.A.; MASSARANDUBA, J.C.M. **Contribuição ao estudo do comportamento de emulsões com polímero SBS e SBR em dosagens de microrrevestimento a frio**. Monografia. Universidade Tuiuti do Paraná. Curso de Especialização em Engenharia de Infra-Estrutura de Transporte Rodoviário, Curitiba, 2004.

ASPHALT INSTITUTE. The asphalt handbook. Manual Series n. 4 (MS-4). 1989. HMA construction. 2. ed. **Manual Series** n. 22 (MS-22). 1998.

DER-PR – DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **Manual de execução de serviços rodoviários**. Curitiba, 1991.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Especificações gerais para obras rodoviárias – v. III/IV**. Rio de Janeiro: DNER, 1997.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **ES 031**: pavimentos flexíveis: concreto asfáltico. Rio de Janeiro: DNIT, 2004.

FHWA – US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **Crumb rubber modifier**: summary of practices in Arizona, California and Florida. 1995.

GONTIJO, P.R.A. Vibroacabadoras de asfalto – princípios de funcionamento e de regulagem. *In*: ENCONTRO DE ASFALTO, 7., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IBP, 1984. p. 15-36.

HUNTER, R.N. Asphalts in road construction. London: Thomas Telford Publishing, 2000.

LCPC – LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES. **Les enduits superficiels et les routes économiques**. Paris: LCPC, 1989.

NAPA – NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. **Rolling and compaction of asphalt pavement**. Riverdale: Napa, 1998.

SANTANA, H. **Manual de pré-misturados a frio**. Rio de Janeiro: IBP, 1993.

SHELL. **The Shell bitumen handbook**. 5. ed. London: Thomas Telford Publishing, 2003.

WAPA – WASHINGTON ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. **The WAPA asphalt pavement guide**. Washington: WAPA, 2004.