

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
FELIPE DA SILVA CHECONE

**COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CBUQ EM RELAÇÃO
AO CAP CONVENCIONAL 50/70 POR CAP COM ADIÇÃO DE POLÍMEROS SBS 65/90**

CASCATEL - PR
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
FELIPE DA SILVA CHECONE

**COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CBUQ EM RELAÇÃO
AO CAP CONVENCIONAL 50/70 POR CAP COM ADIÇÃO DE POLÍMEROS SBS 65/90**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profº. Eng.º civil Esp. Lincoln Salgado

CASCADEL - PR

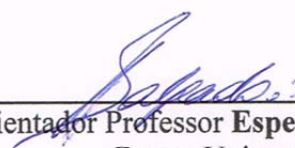
2017

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG
FELIPE DA SILVA CHECONE

**COMPARAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO CBUQ EM RELAÇÃO
AO CAP CONVENCIONAL 50/70 POR CAP COM ADIÇÃO DE POLÍMEROS SBS 65/90**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Eng.º Civil Esp. LINCOLN SALGADO**.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Professor **Especialista LINCOLN SALGADO**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professora **Mestre ANDREA RESENDE SOUZA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professor **Mestre JULIO TOZO NETO**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil

Cascavel, 26 de junho de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, fontes da minha motivação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas em todos os momentos, o maior mestre que alguém pode conhecer.

Aos meus pais e irmãos que, com muito carinho, apoio e paciência, não mediram esforços para ajudar-me a chegar até esta etapa de minha vida.

A esta Universidade e a todos os professores que contribuíram para o meu aprendizado, em especial ao meu orientador, Professor Esp. Lincoln Salgado, por todo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos da fé, pelo companheirismo, apoio e orações que fizeram por mim, no qual sem eles eu não teria chego até aqui.

EPÍGRAFE

“Nenhuma Engenharia constrói caráter, mas com caráter se faz os melhores Engenheiros.”

Jordan Lucas

RESUMO

O modal rodoviário é o principal meio de transporte no Brasil. Por outro lado, a malha rodoviária existente em nosso país é consideravelmente pequena, além de que a maioria das vias está em péssimas condições de conservação. Diante disso, percebe-se a grande necessidade de infraestrutura, que embora seja notório para alguns usuários, a execução de alguns serviços de Implantação e Restauração, tem-se muito a ser feito ainda. O pavimento rodoviário é composto por várias camadas dependendo do sistema adotado, dentre essas camadas a mais nobre é a camada asfáltica de rolamento, pois tem contato direto com o tráfego além de ser objeto do maior custo de produção. A preocupação fica em relação à qualidade desses serviços, por esse motivo, novas tecnologias são aplicadas, entre estas a modificação do cimento asfáltico de petróleo (CAP). O intuito desta pesquisa foi analisar se a substituição do CAP convencional por CAP modificado com polímero em uma composição granulométrica é vantajoso em relação às características mecânicas do concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). A metodologia utilizada consistiu elaborar dois traços de CBUQ de mesma composição granulométrica, porém, utilizando diferentes insumos asfálticos. Os corpos de prova foram moldados pelo método Marshall e submetidos a ensaios. Com os resultados obtidos, a resistência à tração foi superior em 12,61 % e o módulo de resiliência de 28,33 % do CBUQ com CAP SBS 65/90 em relação ao CBUQ com CAP 50/70. Perante os resultados, é vantajosa a utilização de polímeros na composição do cimento asfáltico.

Palavras-chave: CBUQ. Pavimento flexível. Polímero. Asfalto modificado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pavimento rígido (corte longitudinal).....	18
Figura 2: Pavimento flexível (corte transversal).	18
Figura 3: Classificação dos Agregados.	19
Figura 4: Local	30
Figura 5: Dosagem de Materiais Pétreos.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características CAP 50/70.....	32
Tabela 2: Características CAP 65/90 SBS.....	32
Tabela 3: Faixa Granulométrica	33
Tabela 4: Dosagem de Materiais Pétreos	34
Tabela 5: Cálculo da massa de ligante	35
Tabela 6: Características limites CBUQ – CAP 50/70.....	36
Tabela 7: Características limites CBUQ – CAP SBS 65/90.....	36
Tabela 8: Características limites CBUQ – CAP 50/70.....	37
Tabela 9: Características CAP 50/70 e CAP SBS 65/90	39
Tabela 10: Características dos agregados.....	40
Tabela 11: Características Traço CAP 50/70	40
Tabela 12: Características Traço CAP 65/90	41
Tabela 13: Resultados da Resistência à tração	42
Tabela 14: Resultados do Módulo de Resiliência	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resistência a tração.....	42
Gráfico 2: Módulo de Resiliência.....	43

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Cálculo do volume de vazios.....	27
Equação 2: Cálculo do volume preenchido com betume.....	27
Equação 3: Cálculo de volume do agregado mineral.....	27
Equação 4: Cálculo da Relação betume/vazios.....	28
Equação 5: Cálculo da Estabilidade.....	28
Equação 6: Cálculo Resistência a tração por compressão diametral.....	28
Equação 7: Cálculo da Quantidade de CAP.....	35
Equação 8: Cálculo da Densidade Aparente.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS	Acrylonitrile Butadiene Styrene
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASTM	American Society for Testing and Materials
°C	Graus Celsius
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CL	Cura Lenta
cm	Centímetro
cm ²	Centímetro Quadrado
cm ³	Centímetro Cúbico
CM	Cura Média
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CR	Cura Rápida
DA	Densidade Aparente
Dmt	Densidade Média Teórica
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura
E	Estabilidade
ES	Especificação de Serviço
EVA	Ethylene Vynil Acetate
F	Fluência
Kg	Quilograma
Kgf	Quilograma-força
Km	Quilômetro
m	Metro
mm	Milímetros
ME	Método de Ensaio
MPa	Mega Pascal
MR	Módulo de Resiliência
RBV	Relação Betume/Vazio
RET	Reactive Elastomeric Terpolymer

RL	Ruptura Lenta
RM	Ruptura Média
RR	Ruptura Rápida
RT	Resistência a Tração
SB	Styrene-Butadiene
SBR	Styrene-Butadiene Rubber
SBS	Styrene-Butadiene-Styrene
SEBS	Styrene Ethylene Butylene Styrene
SIS	Styrene-Isoprene-Styrene
VAM	Volume do Agregado Mineral
VV	Volume de Vazios

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	15
1.1 INTRODUÇÃO	15
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA.....	17
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	17
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	17
CAPÍTULO 2.....	18
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO	18
2.1.2 MATERIAIS PÉTREOS	19
2.1.2.1 Classificação dos Agregados	19
2.1.3 MATERIAIS BETUMINOSOS	21
2.1.3.1 Asfaltos.....	22
2.1.4.1 Polímeros.....	23
2.1.4.2 Asfaltos Modificados.....	24
2.1.5 REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS	24
2.1.6 DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS.....	25
2.1.7 PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS	26
2.1.8 CARACTERÍSTICAS MARSHALL.....	26
2.1.9 MÓDULO DE RESILIÊNCIA.....	29
CAPÍTULO 3.....	30
3.1 METODOLOGIA.....	30
3.1.1 Local da pesquisa	30
3.1.2 Caracterização da Amostra.....	31
3.1.2.1 Agregados.....	31
3.1.2.2 Insumos Asfálticos	31
3.1.3 Faixa granulométrica de trabalho	33
3.1.4 Composição granulométrica	33

3.1.5 Dosagem	34
3.1.6 Teores ótimos	37
3.1.7 Compressão	38
3.1.8 Modulo de Resiliência	38
CAPÍTULO 4.....	39
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1.1 Caracterização dos insumos asfálticos	39
4.1.2 Caracterização dos agregados.....	39
4.1.3 Características do Traço com CAP 50/70	40
4.1.4 Características do Traço com CAP SBS 65/90	41
4.1.5 Resistência à tração	41
4.1.6 Módulo de Resiliência	42
CAPÍTULO 5.....	44
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
CAPÍTULO 6.....	46
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
APÊNDICE A – Composição Granulométrica	48
APÊNDICE B – Determinação do Teor ótimo – CAP 50/70	49
APÊNDICE C – Determinação do Teor ótimo – CAP SBS 65/90.....	50
ANEXO A – Certificado de qualidade – CAP 50/70	51
ANEXO B – Certificado de qualidade – CAP 65/90	52
ANEXO C – Norma DNIT 031/2006-ES	53
ANEXO D – Norma DNIT 385/99-ES	68
ANEXO E – Norma DNER-ME 043/95.....	83

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Devido à imensa gama de investimentos que aconteceram na década de 1960, com a implantação da indústria automobilística, o modal rodoviário é o tipo de transporte mais utilizado no Brasil. Desde então, foram realizados grandes investimentos na construção de rodovias ao longo de todas as regiões brasileiras, possibilitando o crescimento e o desenvolvimento do modal em nosso país (PORTAL DA EDUCAÇÃO, 2016).

Em consequência, o grande tráfego intenso e pesado que trafega por estas rodovias, juntamente com as ações do clima, até mesmo a má execução de serviços de restauração, implantação e/ou o tipo de material utilizado, propiciam o surgimento de patologias.

A CNT Confederação Nacional do Transporte realizou uma pesquisa onde mostra que 57,3% das principais rodovias do país têm alguma deficiência. O levantamento avaliou mais de 100 mil quilômetros de rodovias, incluindo toda a malha federal e os principais trechos de rodovias estaduais pavimentadas. Em números detalhados sobre o estado geral, 22,4% das vias foram avaliadas como ruins ou péssimas: 6,3% em péssimo estado; e 16,1% em estado ruim. Outras 34,9% foram classificadas como regular. A análise indicou que 42,7% estavam em condições adequadas de segurança e desempenho, com classificação de ótimo (12,5%) ou bom (30,2%) (CNT, 2015).

Por esses motivos, os métodos de construção dos pavimentos têm evoluído de maneira acentuada nas últimas décadas. Novas soluções e técnicas surgem no mercado visando melhorar as propriedades elásticas e mecânicas dos asfaltos. Entretanto, um dos métodos de solucionar esses problemas é adicionar polímeros na composição do concreto asfáltico.

Segundo Senço (1997), a modificação do asfalto pela adição de polímero é feita pela mistura do polímero derretido ao asfalto quente, em misturadores especiais, podendo ou não envolver reação química. Os modificadores de ligantes asfálticos para fins de pavimentação no Brasil são: SBS (copolímero de estireno butadieno), SBR (borracha de butadieno estireno), EVA (copolímero de etileno acetato de vinila) e o RET (coluna de etileno com dois copolímeros acoplados).

Em questão, um tipo bastante difundido de modificador de asfalto é o SBS (copolímero de estireno butadieno), que promete grandes melhorias adicionadas ao CAP (cimento asfáltico de petróleo).

A finalidade do projeto foi comparar as características mecânicas do CBUQ com e sem a adição de polímeros SBS na composição do CAP.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar os desempenhos mecânicos do CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente) em função da substituição do CAP convencional 50/70 por CAP com adição de polímeros SBS 65/90.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar ensaios Marshall para amostras de CBUQ com CAP 50/70 e com CAP SBS 65/90;
- Comparar as características mecânicas inerentes aos resultados Marshall entre os traços junto à norma;
- Efetuar e comparar os ensaios de módulo de resiliência de ambos os traços;

1.3 JUSTIFICATIVA

A pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento em rodovias na maioria dos países do mundo. No Brasil, esse material betuminoso sofreu várias alterações em perdas de propriedades durante os anos, e com isso, modificadores de desempenhos vêm surgindo para se obter melhores resultados nas pavimentações flexíveis a fim de se evitar retrabalhos e manutenções em curto prazo (BERNUCCI et al. , 2008).

Sabendo-se que o principal modal de transportes de pessoas e cargas no Brasil é o rodoviário e que a condição dessas malhas rodoviárias se encontra uma porcentagem bem considerável em estado péssimo ou ruim, é imprescindível o uso de novas tecnologias a favor da qualidade e melhoria das condições de segurança e conforto aos usuários (CNT, 2015).

Sendo assim, busca-se pesquisar os desempenhos mecânicos de resistência e durabilidade em relação ao teor ótimo de ligante entre pavimentos asfálticos com CAP

convencional 50/70 e CAP com adição de polímeros SBS 65/90 apontando a solução que apresentará melhor eficiência em qualidade.

Com tudo, tendo em vista a necessidade pressurosa de melhorias na qualidade das rodovias brasileiras, contribui-se para que as mesmas sejam mais resistentes e duráveis ao receber um tráfego intenso e pesado.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É possível que a adição de polímeros nos ligantes betuminosos apresente expressivas modificações em suas características mecânicas?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPOTESE

A adição de polímeros nos ligantes faz com que as características mecânicas do CBUQ apresentem melhores resultados.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Contempla a comparação das características mecânicas dos CBUQ's dosados conforme metodologia DNER-ME 043-95 – Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall seguindo a especificação DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico faixa “C” com a utilização de CAP 50/70 e CAP SBS 65/90 (DNIT 385/1999 – ES – Pavimentação – concreto asfáltico com asfalto polímero).

CAPÍTULO 2

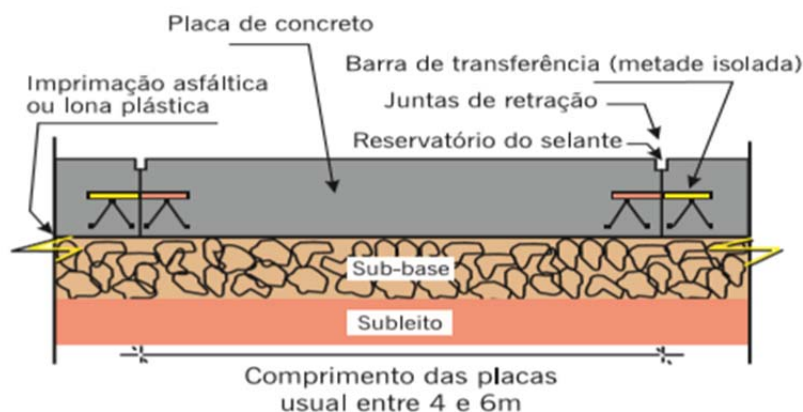
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 PAVIMENTO RODOVIÁRIO

Segundo Senço (1997), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, executadas acima da superfície final da terraplanagem, destinada tecnicamente e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, propiciando aos usuários economia, segurança e conforto.

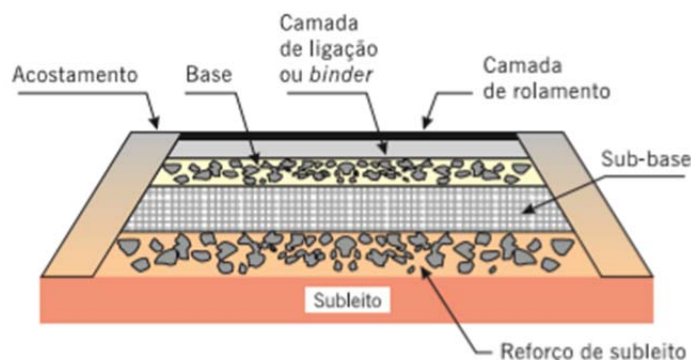
O pavimento rodoviário é classificado tradicionalmente em dois tipos: rígidos e flexíveis. Atualmente costuma-se chamar pavimento de concreto e pavimento asfáltico, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento. As figuras 1 e 2 apresentam o esquema de cada tipo (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 1: Pavimento rígido (corte longitudinal).



(Fonte: BERNUCCI et al., 2008)

Figura 2: Pavimento flexível (corte transversal).



(Fonte: BERNUCCI et al., 2008)

Do ponto de vista estrutural, pavimentos rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações. Quanto aos pavimentos flexíveis, são aqueles em que as deformações, até certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes e ao rompimento por fadiga. Mas há quem se engane quanto a essa classificação, pois nada impede de que em uma mesma estrutura de pavimento seja adotado camadas rígidas e flexíveis (SENÇO, 1997).

2.1.2 MATERIAIS PÉTREOS

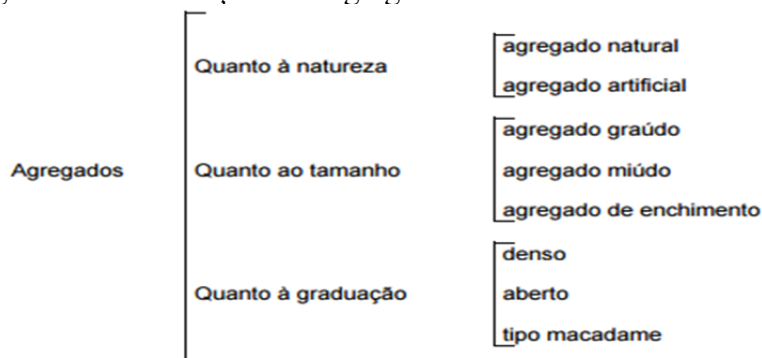
Os materiais pétreos utilizados na pavimentação de rodovias, conhecidos genericamente como agregados, possuem ampla variedade na utilização de revestimentos asfálticos.

O nível de desempenho de um agregado em serviço depende muito das propriedades de origem da rocha. Os ensaios de laboratório e a experiência prática determinam como uma rocha que existe há milhões de anos irá se comportar diante sua vida de projeto. A escolha do agregado para uma determinada utilização deve apresentar propriedades de modo a suportar tensões impostas na superfície do pavimento (BERNUCCI et al. , 2008).

2.1.2.1 Classificação dos Agregados

A classificação dos agregados pode ser definida segundo a sua natureza, tamanho e distribuição dos grãos.

Figura 3: Classificação dos Agregados.



(Fonte: DNIT, 2006)

Quanto à natureza:

Podem ser de origem natural ou artificial. Os naturais são aqueles utilizados como se encontram na natureza ou que ainda passam por um processo de britagem, como por exemplo: o pedregulho e o seixo rolado. Já os artificiais, compreendem aqueles que necessitam de uma transformação físico-química do material natural para sua utilização, como a escória e a argila expandida (DNIT, 2006).

Segundo Bernucci et al. (2008), há também a categoria dos reciclados, provenientes de reuso de materiais diversos da reciclagem de revestimentos asfálticos. Seu uso vem crescendo significativamente no Brasil e em alguns países já é a fonte principal de agregados.

Quanto ao tamanho:

O tamanho dos agregados para uso de misturas asfálticas se divide em graúdo, miúdo e material de enchimento ou filler (SENÇO, 1997).

Agregado graúdo é o material retido na peneira nº 10 (2,0 mm): britas, cascalhos, etc.

Agregado miúdo é o material passante na peneira nº 10 (2,0 mm) e retido na peneira nº 200 (0,075 mm): Areia, pó-de-pedra, etc.

Fíller é o material de enchimento que passa pelo menos 65% na peneira nº 200 (0,075 mm): cimento portland, cal extinta, etc.

Quanto à distribuição ou graduação dos grãos (DNIT, 2006):

Agregado de graduação densa: apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínuo, em que consiste boa quantidade de finos suficientes para preencher os vazios entre as partículas maiores.

Agregado de graduação aberta: apresenta uma curva granulométrica de material bem graduado e contínuo, porém, com insuficiência de material fino para preencher os vazios entre as partículas maiores.

Agregado tipo macadame: material que possui partículas de um único tamanho, em que o diâmetro máximo é aproximadamente o dobro do diâmetro mínimo.

Um fator importante a levar em consideração é quanto à forma externa dos agregados na hora de definir suas propriedades e comportamento sob a ação do tráfego, pois o grão cúbico ou esférico apresenta melhor comportamento em relação a um grão alongado ou chato (SENÇO, 1997).

2.1.3 MATERIAIS BETUMINOSOS

Segundo definição de Senço (1997), os materiais betuminosos são combinações de hidrocarbonetos de cor, dureza e volatilidade variáveis, que podem ser encontrados naturalmente, ou podem ser produzidos pela refinação do petróleo.

O betume, um dos mais antigos e versáteis materiais de construção, era usado para muitas coisas. No Egito, segundo indícios, fora aplicado nos trabalhos de mumificação; em Roma, relatam o uso na impermeabilização de aquedutos (SENÇO, 1997; BERNUCCI et al. , 2008).

Atualmente, o uso em pavimentação é um dos mais importantes de todos, pois em vários países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também bastante utilizado em grande parte das ruas (BERNUCCI et al. , 2008).

O uso intensivo do asfalto em pavimentação é por vários motivos, os principais são: proporciona forte união dos agregados, é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais (SENÇO, 1997; BERNUCCI et al., 2008).

As seguintes definições e conceituações são empregadas com referência aos materiais betuminosos (BERNUCCI et al., 2008):

- betume: usualmente é definido como uma mistura de hidrocarbonetos solúveis no bissulfeto de carbono;
- asfalto: mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação, cujo principal elemento é o betume, podendo conter ainda outros materiais, como oxigênio, nitrogênio e enxofre, em pequena proporção;
- alcatrão: é uma designação genérica de um produto que contém hidrocarbonetos, que se obtém da queima ou destilação destrutiva do carvão, madeira etc.

O asfalto e o alcatrão são materiais betuminosos por conterem betume, mas não podem ser confundidos quanto às propriedades de cada um. O alcatrão praticamente já não é mais usado desde que foi determinado o seu poder cancerígeno, além de apresentar baixa qualidade em condições de ligante para pavimentação (BERNUCCI et al., 2008).

Para esclarecimentos, em alguns lugares da Europa, utiliza-se o termo betume para designar o ligante obtido do petróleo, enquanto que os americanos, inclusive os brasileiros, utilizam o termo asfalto para designar o mesmo material (BERNUCCI et al. , 2008).

2.1.3.1 Asfaltos

O asfalto é um derivado de petróleo de abrangente viscosidade, com propriedades impermeabilizantes e aderentes, não voláteis, de cor preta ou marrom. São compostos basicamente por asfaltenos, resinas e hidrocarbonetos de natureza aromática, solúveis em tricloroetileno e obtidos por refinação de petróleo, podendo, também, serem localizados na natureza como depósito natural (gilsonita) ou associados à matéria mineral (asfalto de Trinidad). O termo asfalto é, também, utilizado popularmente para denominar o conjunto de materiais aplicados na pavimentação, ou seja, a mistura constituída por um ligante asfáltico para pavimentação com agregados compostos por material mineral (FARAH, 2012).

Os asfaltos têm diversas aplicações, e considerando a sua principal aplicação como base de pavimentação, são subdivididos nos seguintes tipos (SENÇO, 1997):

- cimentos asfálticos de petróleo – CAP: materiais muito viscosos, semissólidos ou sólidos à temperatura ambiente, que apresentam comportamento termoplástico, tornando-se líquidos quando aquecidos e retornando ao seu estado original após resfriamento. A consistência do CAP depende da quantidade de fração oleosa remanescente, sendo esse um critério utilizado para sua classificação, traduzida pela viscosidade ou penetração;
- asfaltos diluídos: misturas de CAP's com solventes, obtendo-se segundo o solvente utilizado, asfaltos de cura rápida (CR) usando-se nafta, de cura média (CM) usando-se querosene, de cura lenta (CL) usando-se gasóleo. Essas misturas são realizadas para aumentar a fluidez do CAP. Os solventes, por serem voláteis, evaporam após a aplicação, deixando o cimento asfáltico rígido;
- emulsões asfálticas: que se constituem em pequenas partículas ou glóbulos de CAP, suspensos em água contendo um agente emulsificante. Quando tais emulsões são aplicadas, as partículas de CAP depositam-se sobre as britas do leito rodoviário (agregado mineral), causando a ruptura da emulsão, separando-se da água, resultando em uma camada de cimento asfáltico rígido. As emulsões asfálticas são classificadas como de ruptura rápida (RR), de ruptura média (RM) e de ruptura lenta (RL).

2.1.3.1.1 CAP 50/70

O cimento asfáltico CAP 50/70 é classificado por sua consistência, medida por penetração de agulha a uma temperatura de 25°C, em décimos de milímetros. É distribuído a

granel líquido, aquecido em carreta-tanque com revestimento isotérmico e sistema de aquecimento com maçarico, por óleo térmico ou vapor, sendo comercializado pela unidade de tonelada (PETROBRÁS, 2016).

O produto a granel líquido é estocado em tanques apropriados isotérmicos, com sistema de aquecimento, juntamente aos canteiros de obras para o abastecimento das usinas de misturas asfálticas. Quando estocados, não sofre degradação de suas características, desde que procedimentos adequados sejam realizados, não sendo aconselhadas operações de superaquecimento $> 170^{\circ}\text{C}$. Em caso de período prolongado de estocagem, recomenda-se conservar a temperatura do asfalto à 50°C / 60°C ou até a temperatura ambiente, elevando-se à temperatura do material para o processo de usinagem da massa asfáltica (BRASQUÍMICA, 2016).

2.1.4.1 Polímeros

Os primeiros estudos sobre polímeros foram a partir da segunda metade do século XIX, especialmente no trabalho de estudiosos sobre substâncias naturais, que foram responsáveis, entre outras coisas, pela estrutura e o comportamento físico-químico da borracha, celulose, proteínas e de produtos químicos orgânicos (MANO & MENDES, 1999).

Essas substâncias, chamada de polímeros, são constituídas de moléculas de elevada massa, caracterizadas pela repetição múltipla de pequenas estruturas químicas, formadas por uma ou mais espécies de átomos ou grupo de átomos ligados entre eles (TRECANNI, 2016).

Os Polímeros estão entre os primeiros elementos com as quais o homem tem contato desde o início de sua história; a madeira utilizada como material de construção, lã, seda, algodão e couro, usado para vestuário, âmbar, utilizado nos tempos antigos e até hoje para fazer objetos e joias, e alguns alimentos base (carne, amido) são essencialmente constituídos por substâncias poliméricas (TRECANNI, 2016).

A classificação dos polímeros quanto à sua formação, se divide basicamente em duas maneiras: polímeros preparados a partir de um único monômero, chamados de homopolímeros; e polímeros em que dois ou mais monômeros são empregados, os copolímeros. A formação dos copolímeros pode se dar de forma regular ou irregular (RAMOS, 2007).

2.1.4.2 Asfaltos Modificados

Para a maioria das aplicações rodoviárias, os asfaltos convencionais apresentam bom comportamento, satisfazendo os requisitos de desempenhos necessários sob o tráfego e sob as condições climáticas. Todavia, tratando-se de rodovias com elevado volume de veículos pesados, adversas de grandes diferenças térmicas entre inverno e verão, modificadores de asfalto, mais especificamente polímeros, têm sido utilizados prometendo o melhor desempenho do ligante (BERNUCCI et al., 2008).

Antes de tudo, é importante saber que nem todos os polímeros são passíveis de serem adicionados ao CAP e nem todo CAP quando modificado por polímeros apresentam firmeza à estocagem. O grupo de polímeros que podem ser utilizados na modificação do CAP consiste de copolímeros em bloco de estireno-butadieno (SB), estireno-butadieno-estireno (SBS), estireno-isopreno-estireno (SIS), estireno-butadieno-estireno (SEBS), acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) e acetato de vinila (EVA). Entretanto, não basta conhecer somente o nome genérico do polímero, pois muitos deles têm apresentação comercial diferenciada, tanto na formulação e obtenção das cadeias, como no aspecto físico (BERNUCCI et al., 2008).

2.1.4.2.1 CAP SBS

O copolímero SBS pode ser conseguido através de diferentes formas estruturais, dependendo da natureza dos co-monômeros e do tipo de associação entre eles, tais como: lineares e radiais. Os lineares podem ser obtidos de forma sequencial distinta, como: estatístico, alternado e sequenciado (RAMOS, 1995).

É comercializado tanto em forma de pó como em grânulos e, por exemplo, existe o da Shell tipo linear TR1101, produzido no Brasil, e o estrelado TR1186 importado, ambos com cerca de 30% de estireno. Os copolímeros em bloco SBS da Petroflex, fabricados no Brasil, são do tipo linear Coperflex 2032, 2040 e TR-D101 (BERNUCCI et al., 2008).

2.1.5 REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS

A camada superficial e que tem contato direto com a ação do tráfego, construído para resistir a esforços horizontais, ações do clima, e destinada para proporcionar conforto e

segurança ao usuário, recebe o nome de revestimento ou capa de rolamento, ou simplesmente capa. Sua composição deve garantir impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga, e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previsto (MANZATO, 2016).

Considerado a camada mais nobre do pavimento, a adoção da espessura do revestimento não pode servir como medida que venha a reduzir sua resistência, pois concebe uma parte do pavimento que é constituída de material mais suscetível a garantir eficiência no seu comportamento. Para todos os métodos de dimensionamento de um pavimento, a camada de revestimento tem uma espessura adotada, seja em função de critérios próprios, seja em função do tráfego previsto. Para vias simples — duas faixas de tráfego e duas mãos de direção — espessuras de 3 a 5 cm são habituais. Para autoestradas, podem chegar a 7,5 e 10,0 cm de espessura. Quanto à largura, são estabelecidas em função da Classe de Projeto, da Região e do Tráfego Diário Médio-TDM. A partir da fixação da largura da pista, em função do número de faixas de tráfego ou faixas de rolamento necessárias, que é a largura da camada de revestimento, as demais camadas deverão apresentar larguras crescentes, de cima para baixo, obedecendo a uma regra geral aproximada, de 1 metro de acréscimo de uma para outra. Dessa forma, para um revestimento de pista simples de 7,0 m de largura — duas faixas de tráfego, de 3,50 m cada uma —, a base teria 8 m de largura, a sub-base, 9 m e o reforço 10 m ou 11 m (SENÇO, 1997).

Existem diferentes tipos de revestimentos asfálticos, esses são nomeados conforme sua granulometria e insumos utilizados. No Brasil, o mais conhecido e mais utilizado é o CBUQ (BERNUCCI et al., 2008).

2.1.6 DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Dosar uma mistura asfáltica significa estabelecer proporções de materiais, que quando misturados, atendam aos requisitos estabelecidos pelas especificações. Para que a mistura atenda as especificações, além da granulometria, é necessário que a mesma apresente um teor ótimo de ligante em sua composição, com a finalidade de evitar desagregação da mistura, por falta de ligante, ou superfícies escorregadias e deformáveis, por excesso de ligante (BERNUCCI et al., 2008).

O teor de projeto de ligante asfáltico varia de acordo com o método de dosagem, e é função de parâmetros como energia de compactação, tipo de mistura, temperatura a qual o pavimento estará submetido, entre outros. O método de dosagem mais usado mundialmente

faz uso da compactação por impacto e é denominado método Marshall em referência ao engenheiro Bruce Marshall que o desenvolveu na década de 1940. Durante a década de 1980, várias rodovias norte-americanas de tráfego pesado passaram a evidenciar deformações permanentes prematuras, que foram atribuídas ao excesso de ligante nas misturas (BERNUCCI et al., 2008).

Com a evolução dos procedimentos de dosagem, diversas formas de compactação de amostras vêm sendo desenvolvidas. Dependendo do sistema, as amostras podem ter formatos cilíndricos, trapezoidais ou retangulares e a compactação pode ser realizada através de impacto, amassamento, vibração ou rolagem (HARMAN et al., 2002).

2.1.7 PRODUÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Sobre a fabricação do revestimento, essa é feita em usinas de asfalto fixas ou móveis. Para que melhor se possa entender, uma usina de asfalto é um conjunto de equipamentos mecânicos e eletrônicos interconectados de forma a produzir misturas asfálticas, podendo ser a quente ou a frio. Na mistura a quente, tanto os agregados quanto o ligante asfáltico são aquecidos, neste caso o ligante utilizado é o CAP e na mistura a frio, como o próprio nome já diz, os agregados e o ligante não são aquecidos, neste outro caso o ligante usado é o EAP (emulsão asfáltica de petróleo) (MANZATO, 2016).

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 (BERNUCCI et al., 2008).

2.1.8 CARACTERÍSTICAS MARSHALL

As características do ensaio Marshall são exatamente: volume de vazios, vazios de agregado mineral, relação de betume/vazios, estabilidade e fluência. Essas características são obtidas após a dosagem dos corpos de prova através das equações abaixo, conforme a norma DNER-ME 043/95:

- Porcentagem de volume de vazios (V_v): é os vazios não preenchidos, se dá pela diferença da densidade média teórica (densidade da mistura sem a presença de ar) e densidade média aparente dividida pela densidade teórica, multiplicada por 100.

$$V_v = \frac{D_{mt} - D_A}{D_{mt}} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

V_v : Volume de vazios (%);

D_{mt} : Densidade média teórica (g/cm^3);

D_A : Densidade aparente (g/cm^3)

- Porcentagem de vazios do agregado mineral (VAM): é a soma dos vazios não preenchidos (V_v) com os vazios preenchidos por betume (VCB), ou seja, é o volume total de vazios da mistura.

Para encontrar o VAM, primeiro é necessário calcular o VCB:

$$V_{cb} = D_A \times \frac{T_{eor}}{D_{CAP}} \quad (2)$$

Onde:

D_A : Densidade aparente (g/cm^3)

T_{eor} : percentual de CAP adicionado ao corpo de prova

D_{CAP} : Densidade do cimento asfáltico

$$VAM = V_v + VCB \quad (3)$$

Onde:

VAM: Volume do agregado mineral (%);

V_v : Volume de vazios (%);

VCB: Vazios preenchidos por betume (%)

- Relação betume vazios (RBV): é a relação entre o volume de betume e o volume total

de vazios.

$$RBV = \frac{100 \times V_b}{V_{AM}} \quad (4)$$

Onde:

RBV: Relação betume vazios (%);

Vb: Vazios preenchidos por betume (%);

VAM: Volume do agregado mineral (%)

- Estabilidade: é a carga (Kgf) sob a qual o corpo de prova rompe quando submetido à compressão diametral.

$$E = Lcr \times fc \times Cp \quad (5)$$

Onde:

E: Estabilidade (Kgf);

Lcr: Leitura da carga de ruptura (Kgf);

fc: Fator de correção;

Cp: Constante da Prensa

- Fluência: é a deformação (0,1 mm) que o corpo de prova sofre quando rompe no ensaio de compressão diametral.
- Resistência a tração por compressão diametral estática a 25°C: Com o valor obtido é calculada a resistência à tração do corpo-de-prova rompido por compressão diametral, através da expressão.

$$R_t = \frac{2 F}{(\pi D H)} \quad (6)$$

Onde:

R_t: Resistência a tração por compressão diametral (MPa);

F: Força (N);

D: Diâmetro do corpo de prova (m);

H: Espessura do corpo de prova (m)

- Relação fina/ betume: é a relação ao teor de projeto, e não pode possuir uma variação de 0,3%, para mais ou para menos.

2.1.9 MÓDULO DE RESILIÊNCIA

Os estudos sobre o comportamento resiliente dos materiais usados em pavimentação foram iniciados na década de 1930 com Francis Hveem, que foi o primeiro a relacionar as deformações recuperáveis (resiliência) com as fissuras surgidas nos revestimentos asfálticos. Foi ele também quem adotou o termo “resiliência”, que é definido classicamente como “energia armazenada num corpo deformado elasticamente, a qual é devolvida quando cessam as tensões causadoras das deformações”. Hveem criou um equipamento chamado estabilômetro para medir essas deformações verticais através de sensores eletromecânicos (Hveem, 1955).

O ensaio de módulo de resiliência (MR) em misturas asfálticas é padronizado no país pela DNER-ME 133/94 (DNER, 1994). O ensaio de MR em misturas asfálticas é realizado aplicando-se uma carga repetidamente no plano diametral vertical de um corpo-de-prova cilíndrico regular. Essa carga gera uma tensão de tração transversalmente ao plano de aplicação da carga. Mede-se então o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal correspondente à tensão gerada, numa dada temperatura (T). Os corpos-de-prova cilíndricos são de aproximadamente 100 mm de diâmetro e 63,5mm de altura no caso de corpos-de-prova moldados no compactador Marshall, ou de 100 mm de diâmetro e altura entre 35 mm e 65 mm, extraídos de pista ou de amostras de maiores dimensões.

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

A classificação desta pesquisa é de abordagem mista, de natureza básica, com objetivo exploratório e procedimento experimental (LAKATOS & MARCONI, 1991).

Para a realização desta, utilizaram-se materiais de origem basáltica fornecidos pela Pedreira e dois tipos de CAP: o CAP 50/70 e o CAP SBS 65/90, ambos fornecidos por uma Construtora.

Então foi realizada uma dosagem de traço seguindo-se a norma DNER-ME 043/95, deste traço foi compactado três corpos de prova para porcentagens de 3%; 3,5%; 4%; 4,5% e 5% utilizando-se o CAP 50/70, totalizando-se 15 corpos de prova. Da mesma forma outros 15 utilizando-se o CAP SBS 65/90. Depois de compactados, os mesmos foram submetidos a procedimentos para encontrar suas respectivas características: VV, VAM, RBV, Densidade aparente e Estabilidade. Encontrado o teor ótimo compactaram-se mais três corpos de prova para ambos os traços que através dos resultados foram comparados entre os mesmos e também as especificações das normas do DNIT ES-031/2006 (Anexo C) e ES-385/99 (Anexo D).

3.1.1 Local da pesquisa

A análise foi realizada no laboratório da Pedreira X localizada na BR-163 próximo ao Km 184 no Município de Santa Tereza do Oeste, apresentada na Figura 4.

Figura 4: Local



Fonte: O Autor (2017)

3.1.2 Caracterização da Amostra

3.1.2.1 Agregados

Os materiais fornecidos pela Pedreira e utilizados para a composição do traço foram: Brita $\frac{3}{4}$, Pedrisco e Pó de pedra, sendo estes coletados da bica de britagem de cada agregado conforme esclarece o procedimento DNER-PRO 120/97.

Para que os agregados sejam aceitos na composição de um traço de CBUQ, a norma DNIT 031/2006-ES determina que os mesmos tenham as seguintes características físicas:

Agregados graúdos:

- Abrasão Los Angeles inferior a 55% (DNER-ME 035/98);
- Índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086/94);
- Durabilidade com perda inferior a 12% (DNER-ME 089/94).

Agregados miúdos:

- Equivalente de Areia igual ou superior a 55% (DNER-ME 054/97);

Essas características foram fornecidas pela Construtora para que o acadêmico realizasse sua análise.

3.1.2.2 Insumos Asfálticos

O Cimento Asfáltico de Petróleo 50/70 foi coletado diretamente do tanque de armazenamento a temperatura de 150° C, onde o mesmo é fornecido a Construtora por uma Empresa de asfaltos da cidade de Araucária – PR.

O Cimento Asfáltico de Petróleo SBS 65/90 foi fornecido em um recipiente de latão de 20l por uma Empresa de Paulínia - SP

As características destes insumos são fornecidas através de um certificado de qualidade da Distribuidora no qual é apresentada nos Anexos A e B. Estas características devem respeitar as limitações das Tabelas 1 e 2, conforme respectivas normas DNIT 095/2006-EM e DNIT 129/2011-EM.

Tabela 1: Características CAP 50/70

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES				MÉTODOS		
		CAP 30 / 45	CAP 50 / 70	CAP 85 / 100	CAP 150 / 200	ABNT	ASTM	DNER
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5	ME 003/99
	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36	
Viscosidade Saybolt Furol	s					NBR 14950	E 102	ME 004/94
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	D 4402	
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	ME 149/94
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042	ME 153/94
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min							D 2872	
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	ME 163/98
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	ME 003/99

Fonte: DNIT (2006)

Tabela 2: Características CAP 65/90 SBS

Características	Unidade	55/75-E	60/85-E	65/90-E	Método de Ensaio	
		Limite da Especificação			ABNT / NBR	DNIT- ME
Penetração 25°C, 5s, 100g	0,1 mm	45 – 70	40-70	40-70	-	155/2010
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	55	60	65	-	131/2010
Ponto de Fulgor, mín.	°C	235	235	235	11341	-
Viscosidade Brookfield a 135°C, spind 21, 20 rpm, máx.	cP	3000	3000	3000	15184	-
Viscosidade Brookfield a 150°C, spind 21, 50 rpm, máx.	cP	2000	2000	2000	15184	-
Viscosidade Brookfield a 177°C, spind 21, 100 rpm, máx.	cP	1000	1000	1000	15184	-
Ensaio de Separação de Fase, máx.	°C	5	5	5	15166	-
Recuperação Elástica a 25°C, 20 cm, mín.	%	75	85	90	-	130/2010
Efeito do calor e do ar - RTFOT , 163 °C, 85 minutos						
Varição de massa, máx., (1)	% massa	1,0	1,0	1,0	15235	-
Varição do PA, máx.	°C	- 5 a +7	- 5 a +7	- 5 a +7	-	131/2010
Percentagem de Penetração Original, mín.	%	60	60	60	-	155/2010
Percentagem de Recuperação Elástica Original a 25°C, mín.	%	80	80	80	-	130/2010

Fonte: DNIT (2011)

3.1.3 Faixa granulométrica de trabalho

Perante as normas ES-031/2006 (Anexo C) e ES-385/99 (Anexo D), as mesmas especificam que a composição da mistura da camada de rolamento devem se enquadrar na faixa “B” ou “C”.

Para este estudo, adotou-se a faixa “C” da ES-031/2006 por ser uma composição fechada, apresentando menor taxa de permeabilidade e maior conforto ao usuário.

Para tal, a composição deve se enquadrar dentro das tolerâncias da quinta coluna (C) da Tabela 3.

Tabela 3: Faixa Granulométrica

Peneira de malha quadrada		% em massa passando			
Série	Abertura	A	B	C	Tolerâncias
ASTM	(mm)				
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95-100	100	-	± 7
1"	25,4	75-100	95-100	-	± 7
3/4"	19,1	60-90	80-100	100	± 7
1/2"	12,7	-	-	80-100	± 7
3/8"	9,5	35-65	45-80	70-90	± 7
Nº 4	4,8	25-50	28-60	44-72	± 5
Nº 10	2,0	20-40	20-45	22-50	± 5
Nº 40	0,42	10-30	10-32	8-26	± 5
Nº 80	0,18	5-20	8-20	4-16	± 3
Nº 200	0,075	1-8	3-8	2-10	± 2

Fonte: DNIT 2006

3.1.4 Composição granulométrica

Após coletados os materiais deu-se início aos ensaios, onde primeiramente os mesmos foram quarteados para que as amostras ficassem homogêneas.

Em seguida foi feito uma análise granulométrica de cada agregado utilizando-se as peneiras: 3/4'', 1/2'', 3/8'', nº 4, nº 10, nº 40, nº 80, nº 200.

A partir da granulometria de cada agregado, a composição do traço foi estabelecida pelo método de tentativas, no qual é adotada uma porcentagem para cada um, totalizando a soma dos três a 100%. A porcentagem adotada é então multiplicada por cada fração que passa pelas respectivas peneiras. Na coluna “Mistura” as peneiras são somadas formando uma faixa de trabalho (Apêndice A).

3.1.5 Dosagem

Os corpos de provas foram moldados conforme especifica o método de ensaio DNER ME 043/95 (Anexo E). O material pétreo utilizado na mistura foi seco em estufa a uma temperatura de 110°C, em seguida, separado em frações de acordo com suas dimensões:

- A (19 a 12,7 mm), passa na peneira ¾’’ e retém na peneira ½’’;
- B (12,7 a 9,5 mm), passa na peneira 1/2’’ e retém na peneira nº 3/8’’;
- C (9,5 a 4,8 mm), passa na peneira 3/8’’ e retém na peneira nº 4;
- D (4,8 a 2 mm), passa na peneira nº 4 e retém na peneira nº 10;
- E (passante pela peneira de 2 mm), passa na peneira nº10.

Posteriormente, os materiais pétreos foram dosados a fim de moldar 18 corpos de provas utilizando-se o CAP 50/70 e outros 18 para receber o CAP SBS 65/90 conforme a Tabela 4 e Figura 5.

Tabela 4: Dosagem de Materiais Pétreos

Peneiras		Passante (%)			Mistura %	Massa dos Agregados		
Passando	Retendo	Brita	Pedrisco	Pó	(DNER-ME 053/98)	% entre peneiras	Peneira (g)	Acum. (g)
¾"	½"	100.00	100.00	100.00	100.00	18.00	225.00	225.00
½"	3/8"	28.00	100.00	100.00	82.00	8.51	106.31	331.31
3/8"	nº 4	4.90	92.20	100.00	73.50	25.50	318.75	650.06
nº 4	nº 10	0.68	22.70	99.70	48.00	19.10	238.70	888.76
nº 10	-	0.60	1.10	70.91	28.90	-	361.24	1250.00
% Agr.		25%	35%	40%	Massa CP	1250.00		

Fonte: O Autor (2017)

Figura 5: Dosagem de Materiais Pétreos



Fonte: O Autor (2017)

As amostras de materiais pétreos dosadas foram aquecidas em estufa entre temperaturas de 165 a 170° C, pois como especifica a norma DNER ME 043/95, estas devem estar de 10 a 15° C acima da temperatura do ligante para efetuar a mistura.

Em seguida, foi calculada a porcentagem de massa de ligante pela massa dos materiais pétreos através da Equação 7, para cada variação de 0,5 % entre 3 a 5%.

$$QCAP = \frac{1250 \times Teor}{100 - Teor} \quad (7)$$

Onde:

QCAP: Quantidade de CAP (g);

Teor: Percentual de CAP a adicionar ao corpo de prova

Para cada variação está expressa a quantidade em massa de ligante que foi adicionada nas amostras de materiais pétreos conforme Tabela 5.

Tabela 5: Cálculo da massa de ligante

Teor (%)	Massa (g) CAP	Massa (g) Material Pétreo	Massa Total (g)
3	38.66	1250.0	1288.66
3.5	45.34	1250.0	1295.34
4	52.08	1250.0	1302.08
4.5	58.90	1250.0	1308.90
5	65.79	1250.0	1315.79

Fonte: O Autor (2017)

O método de ensaio especifica para que seja feita a mistura, o ligante deve apresentar a viscosidade de 170±20 cSt ou 85±10 sSF, para que isso ocorresse, os insumos asfálticos foram aquecidos a temperatura de 155°C com uma variação de ± 3°C.

Realizada a mistura, até que ficasse homogênea, a mesma foi colocada sobre um papel filtro até que chegasse a temperatura de compactação, sendo esta de aproximadamente 145°C para as amostras com CAP 50/70 e aproximadamente 155°C para as amostras com CAP 65/90 SBS.

Posteriormente a amostra foi colocada sobre a base de compactação dentro do molde Marshall acomodando-a com 15 golpes de espátula ao redor no interior do molde e mais 10 no centro da massa, seguidamente foi realizada a compactação com o soquete padrão de 4,54

Kg de massa com queda livre de 45,72 cm de altura por 75 vezes em cada superfície do corpo de prova.

Após a compactação de cada corpo de prova, os mesmos ficaram em repouso por 12 horas em temperatura ambiente até serem desmoldados e submetidos aos ensaios.

Os ensaios consistem a determinar as seguintes características:

- Densidade aparente (g/cm³) DA
- Estabilidade Marshall (Kg) E
- Volume de vazios reais (%) V_v
- Vazios cheios de betume (%) VCB
- Vazios do agregado mineral (%) VAM
- Relação betume/vazios (%) RBV

As normas especificam limites para algumas características acima, sendo estas apresentadas nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6: Características limites CBUQ – CAP 50/70

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

Fonte: DNIT (2006)

Tabela 7: Características limites CBUQ – CAP SBS 65/90

Características	Camada de rolamento	Camada de ligação (binder)
Percentagem de vazios	3 a 5	4 a 6
Relação betume-vazios	75 a 82	65 a 72
Estabilidade, mínima	500 kgf (75 golpes)	500 kgf (75 golpes)
Fluência, mm.	2,0 a 4,5	2,0 a 4,5
Resistência à tração por compressão diametral a 25°C, kgf/cm ²	7,0 a 12,0	7,0 a 12,0

Fonte: DNIT (1999)

Para o VAM, os parâmetros são relacionados com o tamanho nominal máximo do agregado utilizado na composição, exposto na Tabela 8, válido para os dois traços em estudo.

Tabela 8: Características limites CBUQ – CAP 50/70

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

Fonte: DNIT (2006)

Sabendo-se que o agregado máximo é de ¾" (19,1 mm), o resultado mínimo para o VAM é 15%.

Os valores de Densidade Aparente foram encontrados pela seguinte fórmula:

$$DA = \frac{M}{M - M_i} \quad (8)$$

Onde:

M: Massa do corpo de prova compactado;

Mi: Massa do corpo de prova imerso em água a temperatura de 25°C

Para os demais: Vv, VCB, VAM e RBV foram encontrados através das fórmulas 1, 2, 3 e 4.

3.1.6 Teores ótimos

O critério utilizado para a escolha do teor ótimo de cada traço foi determinado pelos Gráficos RBV, Vv e VAM versus teor de ligante asfáltico.

Segundo Bernucci et al. (2008), o teor ideal para um projeto é aquele que corresponde ao valor médio das limitações de Vv. Para a Faixa granulométrica em estudo, o Vv deve estar entre 3 a 5%, entretanto, os valores de RBV e VAM também tem suas limitações, dessa

maneira, o teor é estabelecido de modo que todas as características estejam dentro dos parâmetros das especificações.

A importância do teor ótimo implica na dosagem ideal do CBUQ. Se a dosagem de ligante é feita de forma incorreta, o surgimento de patologias no pavimento é inevitável ao receber esforços do tráfego e águas decorrentes das chuvas, visto que, a falta do mesmo causa Desagregações provocando o surgimento de Buracos e Panelas; já o excesso, a formação de Exsudação e outras deformações permanentes como as Trilhas de rodas.

3.1.7 Compressão

Ao se determinar as características volumétricas dos vazios, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão: Estabilidade (Kgf) e Resistência à tração por compressão diametral (MPa). A Estabilidade foi determinada para todos os teores iniciais exceto para os teores ótimos e quanto a Resistência à tração somente para os teores ótimos.

Para a Estabilidade a Norma vigente é a DNIT ME 043/95 e para a Resistência a tração é a DNIT 136/2010-ME.

O procedimento de compressão é o mesmo, porém, o instrumento no qual se coloca o corpo de prova para se comprimir na prensa, é diferente.

3.1.8 Modulo de Resiliência

O ensaio de Modulo de Resiliência efetuou-se para os corpos de prova com teores ótimos. Os mesmos, por falta do equipamento, foram enviados para uma empresa especializada e que por solicitação pediu para que não fosse identificada. A normativa que estabelece os critérios é a Norma DNIT 135/2010 – ME.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1.1 Caracterização dos insumos asfálticos

Verificando-se através dos certificados de ensaios, notou-se que os insumos asfálticos atendem as especificações das Normas DNIT 095/2006-EM e 129/2011-ES, porém, com o propósito de se assegurar dos resultados do certificado, foi realizado o ensaio de recuperação elástica (DNIT 130/2010-ME), em que este não foi satisfatório. Os limites e resultados estão demonstrados na Tabela 9.

Tabela 9: Características CAP 50/70 e CAP SBS 65/90

Características	Unidade	CAP 50/70		CAP SBS 65/90		
		Limites 095/2006-ES	Resultados do Certificado	Limites 129/2011-ES	Resultados do Certificado	Verificação em Laboratório
Penetração 100g, 25°C, 5s	0.1 mm	50-70	54	40-70	45.2	-
Ponto de Amolecimento	°C	mín. 46	49	mín 65	67	-
Recuperação elástica, 20cm, 25°C	-	-	NSA	mín 90	99.5	79.3
Densidade relativa a 20/4°C	-	-	1.005	-	1.005	-
NSA: Não se aplica						

Fonte: O Autor (2017)

Percebe-se ainda que a reação dos polímeros elevou o ponto de amolecimento e reduziu a penetração do ligante asfáltico, o que era esperado. Isso acontece porque a viscosidade do cimento asfáltico se altera.

4.1.2 Caracterização dos agregados

Para os agregados, foram verificados os resultados fornecidos pela Construtora juntamente as Normas 031/2006-ES e 385/99-ES. Na Tabela 10 estão apresentados os valores obtidos e os limites das especificações.

Analisando os dados apresentados pode-se perceber que atenderam.

Tabela 10: Características dos agregados

Características	Agregado	Norma de Referencia	Und.	Limites		Resultado
				ES 031/2006	ES 385/99	
Abrasão Los Angeles	Graúdo	DNER-ME 035/98	%	< 50	< 55	18.4
Índice de Forma	Graúdo	DNER-ME 086/94	%	> 0.5	> 0.5	0.78
Durabilidade	Graúdo	DNER-ME 089/94	%	< 12	< 12	4
Equivalente de areia	Miúdo	DNER-ME 054/97	%	≥ 55	≥ 55	61

Fonte: O Autor (2017)

4.1.3 Características do Traço com CAP 50/70

Com os resultados encontrados nos ensaios Marshall, o teor ótimo de ligante para o traço compreendido com CAP 50/70 foi determinado através dos Gráficos apresentados no Apêndice B.

Pode-se observar na Tabela 11 que todas as características do traço com CAP 50/70 atenderam as especificações da Norma DNIT 031/2006-ES.

Tabela 11: Características Traço CAP 50/70

Características	Norma de Referencia	Unidade	CAP 50/70	Resultados
			Limites 031/2006-ES	
Teor ótimo	DNER-ME 043/95	%	-	4.3
Densidade Aparente	DNER-ME 043/95	Kg/cm ³	-	2.654
Estabilidade	DNER-ME 043/95	Kgf	>500	1368
Volume de Vazios	DNER-ME 043/95	%	3 a 5	3.78
Vazios de agregado mineral	DNER-ME 043/95	%	mín 15	15.2
Relação Betume/Vazios	DNER-ME 043/95	%	75 a 82	75.2

Fonte: O Autor (2017)

A relação do Vv com VAM e RBV é proporcional com o teor de ligante adicionado, ou seja, aumentando o teor de ligante, os vazios diminuem fazendo com que o RBV e o VAM aumente, porém, o processo é inverso usando menos ligante.

Percebe-se também que os valores de VAM e RBV tangenciam a limitação mínima da especificação. Esses valores podem se adequar melhor alterando-se a composição de materiais pétreos.

4.1.4 Características do Traço com CAP SBS 65/90

Com os resultados encontrados nos ensaios Marshall, da mesma forma que o traço convencional, o teor ótimo de ligante para o traço compreendido com CAP SBS 65/90 foi determinado através dos Gráficos apresentados no Apêndice C. É notório na Tabela 12 que todas as características do traço com CAP SBS 65/90 atenderam as especificações da Norma DNIT 385/99-ES.

Tabela 12: Características Traço CAP 65/90

Características	Norma de Referencia	Unidade	CAP SBS 65/90	Resultados
			Limites 385/99-ES	
Teor ótimo	DNER-ME 043/95	%	-	4.3
Densidade Aparente	DNER-ME 043/95	Kg/cm ³	-	2.654
Estabilidade	DNER-ME 043/95	Kgf	>500	1390
Volume de Vazios	DNER-ME 043/95	%	3 a 5	3.71
Vazios de agregado mineral	DNER-ME 043/95	%	mín 15	15.1
Relação Betume/Vazios	DNER-ME 043/95	%	75 a 82	75.5

Fonte: O Autor (2017)

Dos resultados acima, têm-se um decréscimo pequeno no Vv e VAM comparados ao traço com CAP convencional. Quanto aos valores de Estabilidade e RBV aponta melhorias, embora não expressivas. Como já dito anteriormente, os resultados podem se adequar melhor alterando-se a composição de materiais pétreos.

4.1.5 Resistência à tração

Os resultados de resistência à tração dos corpos de prova foram obtidos através do ensaio por compressão diametral. Estes valores são apresentados na Tabela 13.

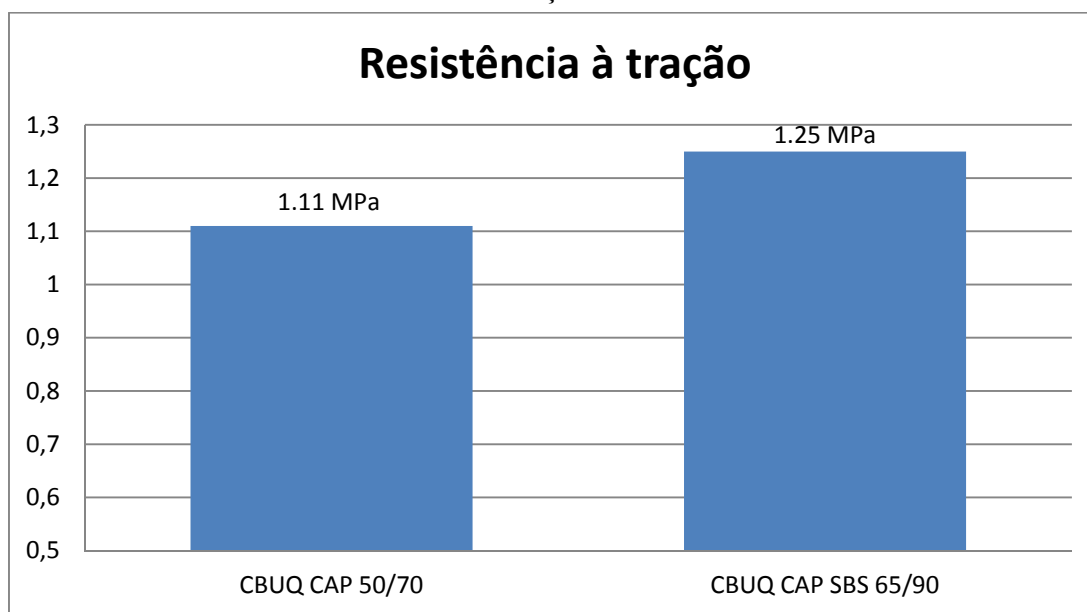
Tabela 13: Resultados da Resistência à tração

CP Nº	Dimensões		Resistência à Tração (RT)		Média Mpa
	Diâmetro	Espessura	Kgf/cm ²	Mpa	
CP 01 FxC 4.3% Pol	10.16	6.14	12.40	1.24	1.25
CP 02 FxC 4.3% Pol	10.16	6.26	12.60	1.26	
CP 03 FxC 4.3% Pol	10.16	6.24	12.60	1.26	
CP 04 FxC 4.3% S/Pol	10.16	6.21	11.20	1.12	1.11
CP 05 FxC 4.3% S/Pol	10.16	6.23	11.00	1.10	
CP 06 FxC 4.3% S/Pol	10.16	6.15	11.00	1.10	

Fonte: O Autor (2017)

Observa-se no Gráfico 1, que a RT média do traço de CBUQ modificado é superior a RT média do traço de CBUQ convencional em 12,61 %.

Gráfico 1: Resultados da Resistência à tração



Fonte: O Autor (2017)

Comparando os resultados com as Normas vigentes 031/2006-ES e 385/99-ES, percebe-se que ambas atendem a mínima exigida de 0,65 MPa, porém, para o CBUQ modificado a resistência obtida supera em décimos a máxima exigida de 1,2 MPa. Esta diferença não é considerável além de que a norma está desatualizada.

4.1.6 Módulo de Resiliência

Os resultados do Módulo de Resiliência a 25°C estão apresentados na Tabela 14.

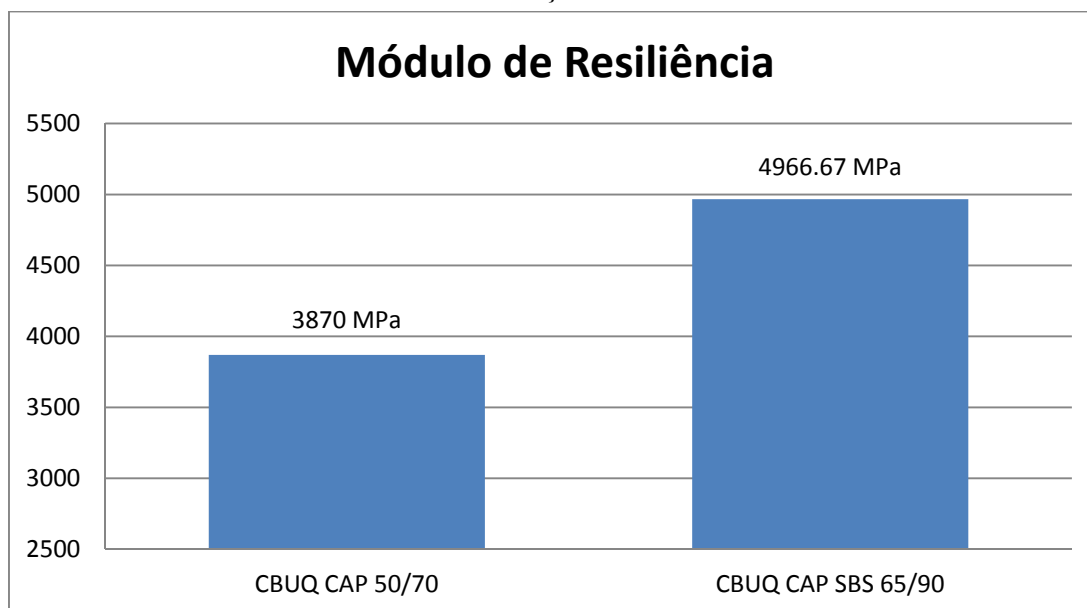
Tabela 14: Resultados do Módulo de Resiliência

CP Nº	Dimensões		Modulo de Resiliencia (MR)		Média Mpa
	Diâmetro	Espessura	Kgf/cm ²	Mpa	
CP 01 FxC 4.3% Pol	10.16	6.14	49600.00	4960.00	4966.67
CP 02 FxC 4.3% Pol	10.16	6.26	49750.00	4975.00	
CP 03 FxC 4.3% Pol	10.16	6.24	49650.00	4965.00	
CP 04 FxC 4.3% S/Pol	10.16	6.21	38500.00	3850.00	3870.00
CP 05 FxC 4.3% S/Pol	10.16	6.23	38800.00	3880.00	
CP 06 FxC 4.3% S/Pol	10.16	6.15	38800.00	3880.00	

Fonte: O Autor (2017)

Pode-se observar no Gráfico 2 que o traço que contém o CAP SBS 65/90 a resiliência é de 28,33% maior que o traço que contém o CAP 50/70. A norma vigente para o Modulo de Resiliência é a 135/2010-ME, a mesma não estabelece valores mínimos.

Gráfico 2: Resultados da Resistência à tração



Fonte: O Autor (2017)

A diferença dos resultados do MR e RT podem ser explicadas pelo fato do polímero propiciar ao CAP maior elasticidade, melhorando a sua recuperação elástica.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude do assunto abordado, foram analisadas as características mecânicas de dois traços de CBUQ a fim de compreender os parâmetros estabelecidos pela Faixa “C”, mais utilizada em execução de obras rodoviárias, de composição granulométrica do DNIT. Esta análise permitiu a melhor compreensão da importância da camada asfáltica presente nas rodovias, bem como seu comportamento exposto a grandes cargas e diferentes temperaturas.

Analisando os resultados obtidos com as normas vigentes, o CBUQ convencional, que contém o CAP 50/70, atendeu todas as especificações da norma 031/2006-ES. Já o CBUQ com o CAP SBS 65/90 em sua composição, apresentou valores insatisfatórios comparados a granulometria da norma 385/99-ES, porém, obedecem as respectivas exigências das características mecânicas.

Em relação à dosagem, o teor ótimo de ligante de cada mistura resultou na mesma proporção. Tendo os dois traços a mesma quantia de ligante, as características volumétricas em relação aos vazios entre as mesmas tiveram resultados diferentes embora insignificantes.

Verificando-se a resistência a tração, pode-se observar que o traço que continha asfalto modificado apresentou um RT superior ao convencional, sendo este de 12,61 % de proporção. Tendo em vista que a composição granulométrica de ambas as misturas é a mesma e que, a única diferença é o cimento asfáltico aplicado, entende-se que o aumento da resistência à tração tem relação ao polímero adicionado.

A respeito do módulo de resiliência (MR), o traço modificado superou o convencional em uma proporção de aproximadamente 30%, um valor consideravelmente expressivo. Com esse aumento, o pavimento asfáltico tem mais resistência a deformações permanentes, resistindo melhor ao surgimento de patologias.

Diante desses números pode-se comprovar que a adição do polímero traz benfeitorias ao cimento asfáltico de petróleo, esses fatores estão ligados à diminuição da penetração, aumento do ponto de amolecimento, maior elasticidade e melhor comportamento a baixas e altas temperaturas.

Estas melhorias eram esperadas e aconteceram conforme expectativa, porém, a verificação do resultado da recuperação elástica do CAP 65/90 não foi satisfatória, pois o mínimo exigido é 90 e o resultado encontrado foi de 79,3%. Percebendo-se que a capacidade

de elasticidade do insumo asfáltico tem ligação com a dosagem de polímeros, espera-se que a correta dosagem possa trazer melhores resultados.

Por fim, conclui-se que a utilização do CAP SBS 65/90 em misturas asfálticas é vantajosa em relação às características mecânicas, propiciando as rodovias maior vida útil e com isso, conforto aos usuários, retardando o início das ações de conservação e manutenção das vias em relação às patologias inerentes ao tráfego.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar a comparação de custo entre ambos os traços, considerando produção e execução.
- Realizar um estudo de dosagem de polímeros ao CAP a fim de saber a porcentagem ideal que atinja os 90% de recuperação elástica.
- Fazer o mesmo estudo, porém, com adição de areia na composição granulométrica de ambos os traços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNUCCI, Liedi Bariani, et al, **Pavimentação asfáltica**. Formação Básica para Engenheiros, Abeda, Rio de Janeiro, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT: **www.cnt.org.br**. Site consultado em Agosto de 2016.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de Pavimentação**, Disponível em http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/719_manual_de_pavimentacao.pdf, 2006.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 043/95**, Misturas Betuminosas a quente, Ensaio Marshall – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1995.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-PRO 120/97**, Coleta de Amostras de Agregados – Procedimento, Rio de Janeiro, 1997.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ES 385/99**, Pavimentação - Concreto asfáltico com Asfalto Polímero - Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 1999.

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **DNIT 031/2006 - ES**, Pavimentos Flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 2006.

MANO, Eloisa B., MENDES, Luís C., **Introdução a Polímeros**. 2ª Ed. Editora Edgard Blucher LTDA, São Paulo, 1999.

MANZATO, Gustavo Garcia. **Tipos de Revestimentos Asfálticos**. Disponível em <<https://www.feb.unesp.br/Home/Departamentos343/EngenhariaCivil/gustavogarciamanzato/2016pavaula04revasf.pdf>> Site consultado em Novembro de 2016.

PORTAL DA EDUCAÇÃO <<http://www.portaleducacao.com.br/cotidiano/artigos/52224/transportes-conceito-tipos-de-modais-e-tecnologia>>, Site consultado em Agosto de 2016.

RAMOS, João Carlos. Polímeros quirais: polipirróis e politiofenos modificados com R-(-) ou S-(+)-N-(3,5-Dinitrobenzoil)- α -fenilglicina. 2007. 116 f. Tese (Doutorado em Química) – Faculdade de Química. Universidade de Pernambuco, Recife.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Volume 1, Ed. Pini, São Paulo, 1997.

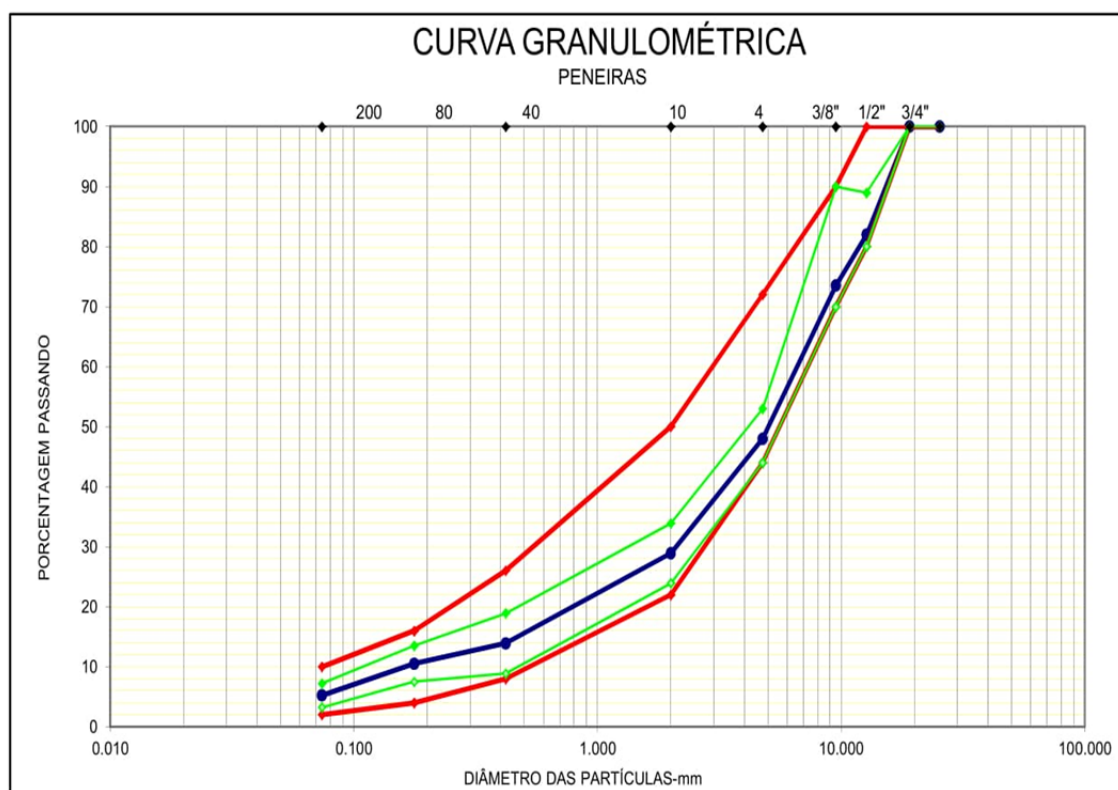
SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Volume 2, Ed. Pini, São Paulo, 1997.

TRECCANI<[http://www.treccani.it/enciclopedia/la-grande-scienza-i-polimeri_\(Storiadel-la-Scienza\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/la-grande-scienza-i-polimeri_(Storiadel-la-Scienza)/)>, Site consultado em Novembro de 2016.

APÊNDICE A – Composição Granulométrica

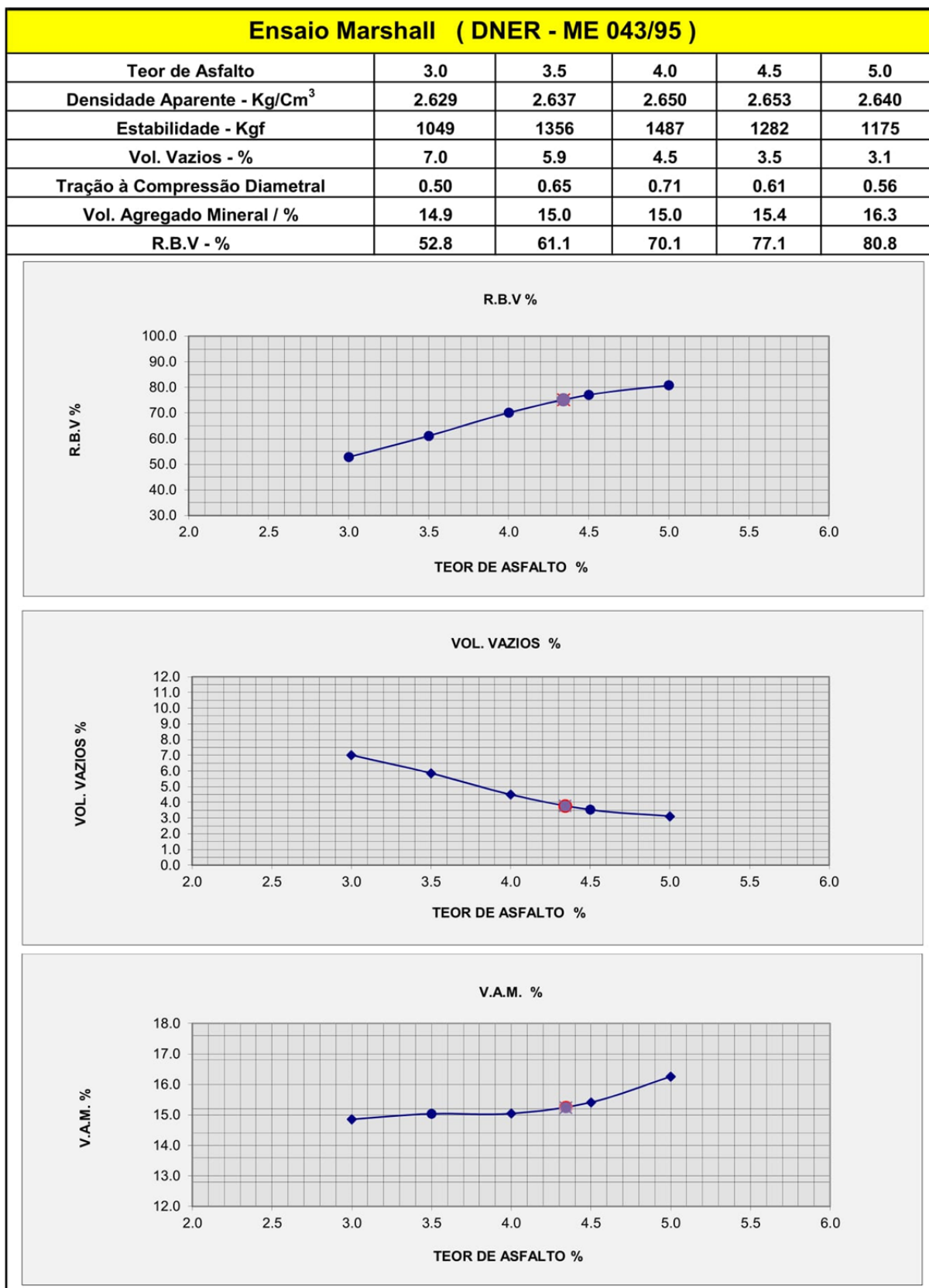
ESTUDO PARA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (DNER -ME 083/98)

Peneira	mm	BRITA 3/4		PEDRISCO 3/8"		PÓ 3/16"		Mistura	FAIXA DE TRABALHO		FAIXA C	
		25.0%		35.0%		40.0%						
1"	25.40	100.00	25.00	100.00	35.00	100.00	40.00	100.0	100	100	100	100
3/4"	19.1	100.00	25.00	100.00	35.00	100.00	40.00	100.0	100	100	100	100
1/2"	12.70	28.00	7.00	100.00	35.00	100.00	40.00	82.0	80	89	80	100
3/8"	9.52	4.90	1.23	92.20	32.27	100.00	40.00	73.5	70	90	70	90
n°4	4.76	0.68	0.17	22.70	7.95	99.70	39.88	48.0	44	53	44	72
n°10	2	0.60	0.15	1.10	0.39	70.91	28.36	28.9	24	34	22	50
n°40	0.42	0.56	0.14	0.70	0.25	33.80	13.52	13.9	9	19	8	26
n°80	0.177	0.54	0.14	0.65	0.23	25.40	10.16	10.5	8	14	4	16
n°200	0.07	0.52	0.13	0.63	0.22	12.20	4.88	5.2	3	7	2	10

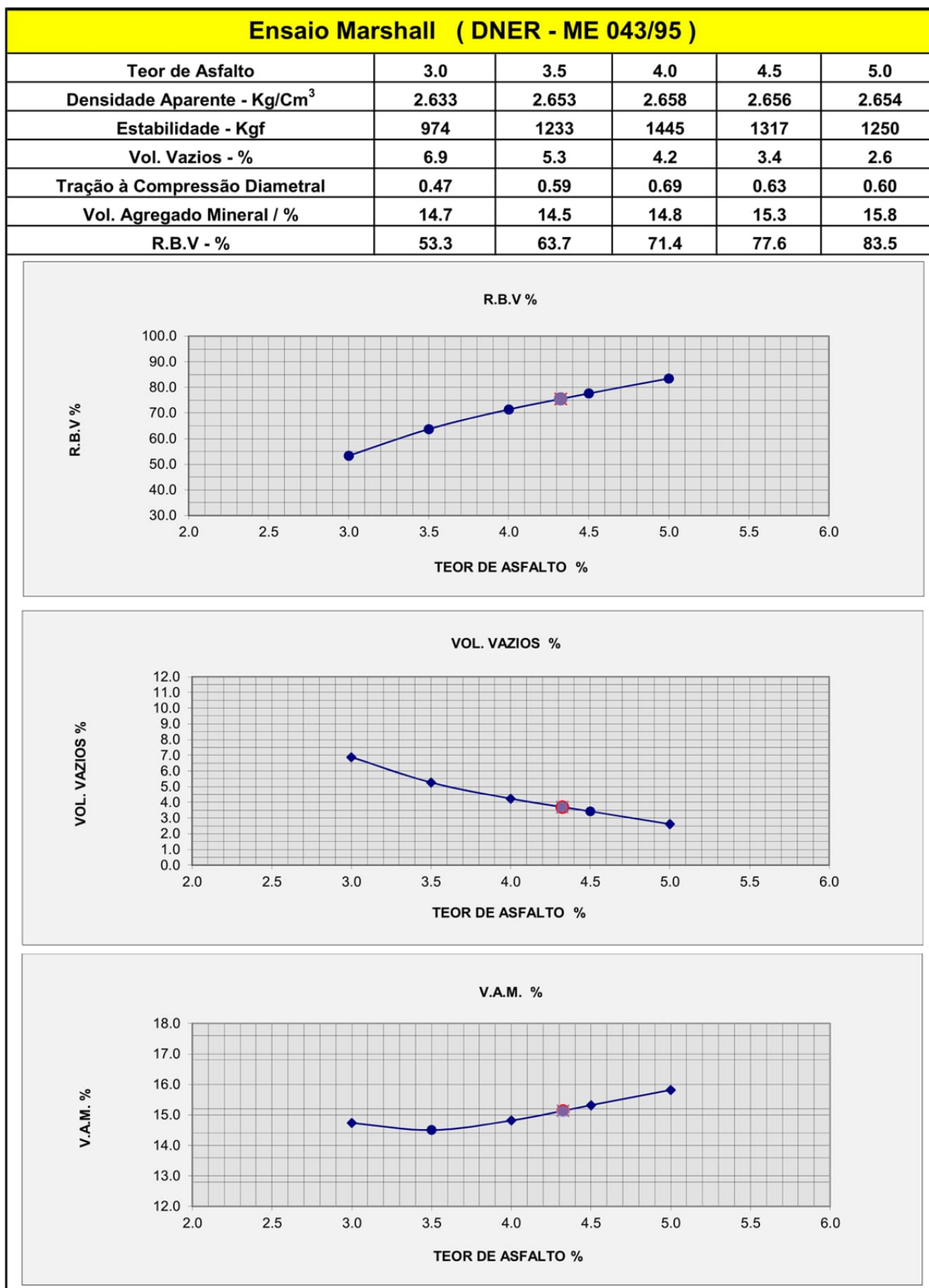


Mistura — Mistura
 Fx. Especif. — FAIXA C
 Fx. Trabalho — FAIXA DE TRABALHO

APÊNDICE B – Determinação do Teor ótimo – CAP 50/70



APÊNDICE C – Determinação do Teor ótimo – CAP SBS 65/90



ANEXO A – Certificado de qualidade – CAP 50/70



Número: 0642-17 G

CÓPIA

CERTIFICADO DE ENSAIO

Produto: CIMENTO ASFALTICO 50/70

Código: 71K

Local de Amostragem: TQ 2954384
 Data/ hora Amostragem: 14/04/17 02:45
 Data/ hora Recebimento: 14/04/17 05:07

Laboratório: REPAR/OT/QP
 Endereço: Rodovia do Xisto (BR-476), km 16
 83.707-440, Araucária - PR
 Telefone: +55 41 36412846 Fax: +55 41 36412846

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
PENETRAÇÃO	D 5	50 a 70	54	0,1 mm
PONTO DE AMOLECIMENTO	D 36	46 min	49,0	grau C
VISCOSIDADE SAYBOLT FUROL A 135 GC	E 102	141 min	167,0	s
VISCOSIDADE BROOKFIELD 135GC-SP21 20RPM	D 4402	274 min	322	cp
VISC. SSF. 150GC	E 102	50 min	86,1	s
VISCOSIDADE BROOKFIELD 150 GC-SP21	D 4402	112 min	162	cp
VISCOSIDADE SAYBOLT FUROL A 177 GC	E 102	30 a 150	33,1	s
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 177GC SP21	D 4402	57 a 285	60	cp
RTFOT PENETRAÇÃO RETIDA	D 5	55 min	69	%
RTFOT-AUMENTO DO PONTO DE AMOLECIMENTO	D 36	8 max	2,6	grau C
RTFOT - DUCTILIDADE A 25GC	D 113	20 min	>100	cm
RTFOT VARIAÇÃO EM % MASSA	D 2872	-0,50 a 0,50	-0,056	%
DUCTILIDADE A 25 GC	D 113	60 min	>100	cm
SOLUBILIDADE NO TRICLOROETILENO	D 2042	99,5 min	99,9	% massa
PONTO DE FULGOR	D 92	235 min	342	grau C
ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE TÉRMICA	X 018	-1,5 a 0,7	-1,3	N/A
DENSIDADE RELATIVA A 20/4 GRAUS CELSIUS	D 70	Anotar (1)	1,005	N/A
AQUECIMENTO A 177 GC	X 215	NESP (2)	NESP	N/A

Notas:

(1) Ensaio não faz parte da especificação. Informação para fins de faturamento.

(2) NESP = Não espuma

- Este certificado foi gerado eletronicamente e assinado digitalmente pelo responsável.

Data de Emissão: 14/04/2017 14:18:03

Página: 1 de 1

Os resultados deste Certificado de Ensaio referem-se à amostra acima especificada.

Este certificado só pode ser reproduzido integralmente com a autorização do responsável pelo seu conteúdo.

Certificado assinado digitalmente pelo responsável:

Anderson Dagostin Pavei

CRQ: 09302984

NF. 391673 - 22.04.17
 laboratório

ANEXO B – Certificado de qualidade – CAP 65/90

	NTA - Novas Técnicas de Asfaltos Ltda Laboratório de Controle de Qualidade Filial Paulínia - SP				
CERTIFICADO DE QUALIDADE					
Nº 2293-17					
PRODUTO: ASFALTO MODIFICADO NTALEX 65/90 DATA DO CARREGAMENTO: 02/02/17 CLIENTE: DALBA ENGENHARIA DESTINO: CASCAVEL -PR ORDEM DE PRODUÇÃO (LOTE): _____ NOTA FISCAL Nº _____ TRANSPORTADORA: - PLACA CARRETA: - QUANTIDADE (Kg): _____ LACRES: -					
CARACTERISTICAS DO PRODUTO DE ACORDO COM A ESPECIFICAÇÃO DNIT 129/2010-EM					
CARACTERISTICA	UNIDADE	NORMA DE REFERÊNCIA	LIMITES	RESULTADOS	
				FABRICA	OBRA
PENETRAÇÃO 100g, 25°C, 5 s	0,1mm	NBR 6576	40 - 70	45, 2	
PONTO DE AMOLECIMENTO	°C	NBR 6560	min. 65	67	
RECUPERAÇÃO ELÁSTICA, 20cm, 25°C	%	NBR 15086	min. 90	99, 5	
VISCOSIDADE BROOKFIELD a 135°C, sp21, 20rpm	cP	NBR 15184	máx. 3000	1128	
VISCOSIDADE BROOKFIELD a 150°C, sp21, 50rpm	cP	NBR 15184	máx. 2000	639	
VISCOSIDADE BROOKFIELD a 177°C, sp21, 100rpm	cP	NBR 15184	máx. 1000	211	
SEPARAÇÃO DE FASE (NOTA 01)	°C	NBR 15166	máx. 5	3	
PONTO DE FULGOR	°C	NBR 11341	mín 235	>235	
DENSIDADE RELATIVA A 20/4°C	-	NBR 6296	Anotar	1,005	
OBSERVAÇÕES: NOTA 01: Os resultados apresentados podem não se referir ao produto analisado, mas ao lote do mesmo, de acordo com o Plano de Controle de Qualidade do Produto; 1- Os resultados apresentados se referem apenas ao lote mencionado; 2- Este certificado só pode ser reproduzido integralmente; 3- Não recomendamos o aquecimento do produto para descarga acima de 175°C; 4- Em caso de dúvidas, favor contactar nosso Departamento Técnico: (19) 3874-4555.					
PREZADO CLIENTE: Por favor conferir os resultados apresentados acima, assinar e devolver a 2ª via deste Certificado de Qualidade com os resultados encontrados na obra. Caso encontre alguma irregularidade, entre em contato com nosso departamento técnico.					
O MATERIAL ATENDE AS ESPECIFICAÇÕES:					
Local	Data	Responsável			
CÓPIA ELETRÔNICA ORIGINAL ASSINADO POR: Gerson da Silva Pereira Engenheiro Químico CRQ 04300668 4ª REGIÃO SP					
EMISSÃO: 2/2/17 8:34		Revisão 01 de 18/04/2011			

ANEXO C – Norma DNIT 031/2006-ES



MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-
ESTRUTURA DE TRANSPORTESDIRETORIA DE PLANEJAMENTO E
PESQUISAINSTITUTO DE PESQUISAS
RODOVIÁRIASRodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-000
Tel/fax: (21) 3371-5888

NORMA DNIT 031/2006 - ES

Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico -
Especificação de serviço**Autor:** Diretoria de Planejamento e Pesquisa**Processo:** 50.600.004.691/2003-81**Origem:** Revisão da norma DNIT 031/2004 - ES**Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 26/06/2006.***Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.***Palavras-chave:**

Concreto asfáltico, pavimento flexível, especificação

**Nº total de
páginas**
14**Resumo**

Este documento define a sistemática a ser empregada na execução de camada do pavimento flexível de estradas de rodagem, pela confecção de mistura asfáltica a quente em usina apropriada utilizando ligante asfáltico, agregados e material de enchimento (filer). Estabelece os requisitos concernentes aos materiais, equipamentos, execução e controle de qualidade dos materiais empregados, além das condições de conformidade e não-conformidade e de medição dos serviços.

Abstract

This document provides the method of executing the layer of a road flexible pavement, making use of bituminous hot mix from an appropriate plant including binder, mineral aggregates, and filler. It also defines the requirements concerning material, equipment, execution and quality control of the materials in use, as well as the criteria for acceptance and rejection and measurement of the services.

Sumário

Prefácio 1

1 Objetivo 2

2	Referências normativas.....	2
3	Definição	3
4	Condições gerais.....	3
5	Condições específicas	4
6	Manejo ambiental	8
7	Inspeção.....	9
8	Crêterios de medição.....	13
	Índice Geral.....	14

Prefácio

A presente Norma foi preparada pela Diretoria de Planejamento e Pesquisa, para servir como documento base na sistemática a ser empregada na execução de camada de pavimento flexível de estradas de rodagem pela utilização de mistura asfáltica a quente em usina apropriada, empregando, além, do ligante asfáltico, agregados e material de enchimento (filer). Está baseada na norma DNIT 001/2002-PRO e cancela e substitui a norma DNIT 031/2004 - ES.

1 Objetivo

Estabelecer a sistemática a ser empregada na produção de misturas asfálticas para a construção de camadas do pavimento de estradas de rodagem, de acordo com os alinhamentos, greide e seção transversal de projeto.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados neste item serviram de base à elaboração desta Norma e contêm disposições que, ao serem citadas no texto, se tornam parte integrante desta Norma. As edições apresentadas são as que estavam em vigor na data desta publicação, recomendando-se que sempre sejam consideradas as edições mais recentes, se houver.

- a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. T 283-89: resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage. In: _____. *Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing*. Washington, D.C., 1986. v.2
- b) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1754: effect of heat and air on asphaltic materials (Thin-Film Oven Test): test. In: _____. *1978 annual book of ASTM standards*. Philadelphia, Pa., 1978.
- c) _____. ASTM D 2872: effect of heat and air on a moving film of asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test): test. In: _____. *1978 annual book of ASTM standards*. Philadelphia, Pa., 1978.
- d) _____. ASTM E 303: pavement surface frictional properties using the British Portable Tester – Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester: test for measuring. In: _____. *1978 annual book of ASTM standards*. Philadelphia, Pa., 1978.
- e) _____. *NBR 6560: materiais asfálticos – determinação de ponto de amolecimento – método do anel e bola*. Rio de Janeiro, 2000.
- f) ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. *AFNOR NF P-98-216-7: détermination de la macrotexture - partie 7: détermination de hauteur au sable*. Paris, 1999.
- g) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ISA 07: impactos da fase de obras rodoviárias – causas/ mitigação/ eliminação. In: _____. *Corpo normativo ambiental para empreendimentos rodoviários*. Rio de Janeiro, 1996.
- h) BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Regulamento Técnico nº 03/2005. Resolução ANP nº 19, de 11 de julho de 2005. Brasília, DF, Anexo I, julho de 2005. Disponível em: <http://www.200.179.25.133/NXT/gateway.dll/leg/resoluções_anp/2005julho/ramp%2019%....> Acesso em 11 de julho de 2005.
- i) _____. *DNER-EM 367/97: material de enchimento para misturas asfálticas: especificação de material*. Rio de Janeiro: IPR, 1997.
- j) _____. *DNER-ME 003/99: material asfáltico – determinação da penetração: método de ensaio*. Rio de Janeiro: IPR, 1999.
- k) _____. *DNER-ME 004/94: material asfáltico – determinação da viscosidade "Saybolt-Furol" a alta temperatura: método de ensaio*. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- l) _____. *DNER-ME 035/98: agregados – determinação da abrasão "Los Angeles" : método de ensaio*. Rio de Janeiro: IPR, 1998.

- m) _____. *DNER-ME 043/95*: misturas asfálticas a quente – ensaio Marshall: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1995.
- n) _____. *DNER-ME 053/94*: misturas asfálticas – percentagem de betume: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- o) _____. *DNER-ME 054/97*: equivalente de areia: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1997.
- p) _____. *DNER-ME 078/94*: agregado graúdo – adesividade a ligante asfáltico: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- q) _____. *DNER-ME 079/94*: agregado - adesividade a ligante asfáltico: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- r) _____. *DNER-ME 083/98*: agregados – análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1998.
- s) _____. *DNER-ME 086/94*: agregados – determinação do índice de forma: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- t) _____. *DNER-ME 089/94*: agregados – avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- u) _____. *DNER-ME 138/94*: misturas asfálticas – determinação da resistência à tração por compressão diametral: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- v) _____. *DNER-ME 148/94*: material asfáltico – determinação dos pontos de fulgor e combustão (vaso aberto Cleveland): método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- w) _____. *DNER-ME 401/99*: agregados – determinação de índice de degradação de rochas após compactação Marshall com ligante ID_{ml} e sem ligante ID_m: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1999.
- x) _____. *DNER-PRO 164/94* – Calibração e controle de sistemas de medidores de irregularidade de superfície do pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter);
- y) _____. *DNER-PRO 182/94*: medição de irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter: procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 1994.
- z) _____. *DNER-PRO 277/97*: metodologia para controle estatístico de obras e serviços: procedimento: Rio de Janeiro: IPR, 1997.
- aa) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. *DNIT 011/2004-PRO*: gestão da qualidade em obras rodoviárias: procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

3 Definição

Concreto Asfáltico - Mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (filer) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente.

4 Condições gerais

O concreto asfáltico pode ser empregado como revestimento, camada de ligação (binder), base, regularização ou reforço do pavimento.

Não é permitida a execução dos serviços, objeto desta Especificação, em dias de chuva.

O concreto asfáltico somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C.

Todo o carregamento de cimento asfáltico que chegar à obra deve apresentar por parte do fabricante/distribuidor

certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pela especificação, correspondente à data de fabricação ou ao dia de carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço, se o período entre os dois eventos ultrapassar de 10 dias. Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

5 Condições específicas

5.1 Materiais

Os materiais constituintes do concreto asfáltico são agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento filer e ligante asfáltico, os quais devem satisfazer às Normas pertinentes, e às Especificações aprovadas pelo DNIT.

5.1.1 Cimento asfáltico

Podem ser empregados os seguintes tipos de cimento asfáltico de petróleo:

- CAP-30/45
- CAP-50/70
- CAP-85/100

5.1.2 Agregados

5.1.2.1 Agregado graúdo

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

- a) desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50% (DNER-ME 035); admitindo-se excepcionalmente agregados com valores maiores, no caso de terem apresentado comprovadamente desempenho satisfatório em utilização anterior;

NOTA: Caso o agregado graúdo a ser usado apresente um índice de desgaste Los Angeles superior a 50%, poderá ser usado o

Método DNER-ME 401 – Agregados – determinação de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante ID_{mi} , e sem ligante ID_m , cujos valores tentativas de degradação para julgamento da qualidade de rochas destinadas ao uso do Concreto Asfáltico Usinado a Quente são: $ID_{mi} \leq 5\%$ e $ID_m \leq 8\%$.

- b) índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086);
- c) durabilidade, perda inferior a 12% (DNER-ME 089).

5.1.2.2 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).

5.1.2.3 Material de enchimento (filer)

Quando da aplicação deve estar seco e isento de grumos, e deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, tais como cimento Portland, cal extinta, pós-calcários, cinza volante, etc; de acordo com a Norma DNER-EM 367.

5.1.2.4 Melhorador de adesividade

Não havendo boa adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados graúdos ou miúdos (DNER-ME 078 e DNER-ME 079), pode ser empregado melhorador de adesividade na quantidade fixada no projeto.

A determinação da adesividade do ligante com o melhorador de adesividade é definida pelos seguintes ensaios:

- a) Métodos DNER-ME 078 e DNER 079, após submeter o ligante asfáltico contendo o dope ao ensaio RTFOT (ASTM – D 2872) ou ao ensaio ECA (ASTM D-1754);

- b) Método de ensaio para determinar a resistência de misturas asfálticas compactadas à degradação produzida pela umidade (AASHTO 283). Neste caso a razão da resistência à tração por compressão diametral estática antes e após a imersão deve ser superior a 0,7 (DNER-ME 138).

5.2 Composição da mistura

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

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série	Abertura	A	B	C	Tolerâncias
ASTM	(mm)				
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
3/4"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
1/2"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 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.

No projeto da curva granulométrica, para camada de revestimento, deve ser considerada a segurança do usuário, especificada no item 7.3 – Condições de Segurança.

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) devem ser observados os valores limites para as características especificadas no quadro a seguir:

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

- b) as Especificações Complementares podem fixar outra energia de compactação;
- c) as misturas devem atender às especificações da relação betume/vazios ou aos mínimos de vazios do agregado mineral, dados pela seguinte tabela:

VAM – Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo %
#	m m	
1 1/2"	38,1	13
1"	25,4	14
3/4"	19,1	15
1/2"	12,7	16
3/8"	9,5	18

5.3 Equipamentos

Os equipamentos necessários à execução dos serviços serão adequados aos locais de instalação das obras, atendendo ao que dispõem as especificações para os serviços.

Devem ser utilizados, no mínimo, os seguintes equipamentos:

- a) Depósito para ligante asfáltico;

Os depósitos para o ligante asfáltico devem possuir dispositivos capazes de aquecer o ligante nas temperaturas fixadas nesta Norma. Estes dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado. Deve ser instalado um sistema de recirculação para o ligante asfáltico, de modo a garantir a circulação, desembaraçada e contínua, do depósito ao misturador, durante todo o período de operação. A capacidade dos depósitos

deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

b) Silos para agregados;

Os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e ser divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as frações apropriadas do agregado. Cada compartimento deve possuir dispositivos adequados de descarga. Deve haver um silo adequado para o filler, conjugado com dispositivos para a sua dosagem.

c) Usina para misturas asfálticas;

A usina deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90° a 210 °C (precisão ± 1 °C), deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada além disto, com pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados na descarga do secador, com dispositivos para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de ± 5 °C. A usina deve possuir termômetros nos silos quentes.

Pode, também, ser utilizada uma usina do tipo tambor/secador/misturador, de duas zonas (convecção e radiação), provida de: coletor de pó, alimentador de "filler", sistema de descarga da mistura asfáltica, por intermédio de transportador de correia com comporta do tipo "clam-shell" ou alternativamente, em silos de estocagem.

A usina deve possuir silos de agregados múltiplos, com pesagem dinâmica e deve ser assegurada a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

A usina deve possuir ainda uma cabine de comando e quadros de força. Tais partes devem estar instaladas em recinto fechado, com os cabos de força e comandos ligados em tomadas externas especiais para esta aplicação. A operação de pesagem de agregados e do ligante asfáltico deve ser semi-automática com leitura instantânea e acumuladora, por meio de registros digitais em "display" de cristal líquido. Devem existir potenciômetros para compensação das massas específicas dos diferentes tipos de ligantes asfálticos e para seleção de velocidade dos alimentadores dos agregados frios.

d) Caminhões basculantes para transporte da mistura;

Os caminhões, tipo basculante, para o transporte do concreto asfáltico usinado a quente, devem ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, ou solução de cal, de modo a evitar a aderência da mistura à chapa. A utilização de produtos susceptíveis de dissolver o ligante asfáltico (óleo diesel, gasolina etc.) não é permitida.

e) Equipamento para espalhamento e acabamento;

O equipamento para espalhamento e acabamento deve ser constituído de pavimentadoras automotrizes, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto. As acabadoras devem ser equipadas com parafusos sem fim, para colocar a mistura exatamente nas faixas, e possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de marchas para a frente e para trás. As acabadoras devem ser equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade.

f) Equipamento para compactação;

O equipamento para a compactação deve ser constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório. Os rolos pneumáticos, autopropulsionados, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5 kgf/cm² a 8,4 kgf/cm².

O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura na densidade de projeto, enquanto esta se encontrar em condições de trabalhabilidade.

NOTA: Todo equipamento a ser utilizado deve ser vistoriado antes do início da execução do serviço de modo a garantir condições apropriadas de operação, sem o que, não será autorizada a sua utilização.

5.4 Execução

5.4.1 Pintura de ligação

Sendo decorridos mais de sete dias entre a execução da imprimação e a do revestimento, ou no caso de ter havido trânsito sobre a superfície imprimada, ou, ainda ter sido a imprimação recoberta com areia, pó-de-pedra, etc., deve ser feita uma pintura de ligação.

5.4.2 Temperatura do ligante

A temperatura do cimento asfáltico empregado na mistura deve ser determinada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura-viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o cimento asfáltico apresenta uma viscosidade situada dentro da faixa de 75 a 150 SSF, "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004), indicando-se, preferencialmente, a viscosidade de 75 a 95 SSF. A temperatura do ligante não deve ser inferior a 107°C nem exceder a 177°C.

5.4.3 Aquecimento dos agregados

Os agregados devem ser aquecidos a temperaturas de 10°C a 15°C acima da temperatura do ligante asfáltico, sem ultrapassar 177°C.

5.4.4 Produção do concreto asfáltico

A produção do concreto asfáltico é efetuada em usinas apropriadas, conforme anteriormente especificado.

5.4.5 Transporte do concreto asfáltico

O concreto asfáltico produzido deve ser transportado, da usina ao ponto de aplicação, nos veículos especificados no item 5.3 quando necessário, para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada. Cada carregamento deve ser coberto com lona ou outro material aceitável, com tamanho suficiente para proteger a mistura.

5.4.6 Distribuição e compactação da mistura

A distribuição do concreto asfáltico deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 5.3.

Caso ocorram irregularidades na superfície da camada, estas devem ser sanadas pela adição manual de concreto asfáltico, sendo esse espalhamento efetuado por meio de ancinhos e rodos metálicos.

Após a distribuição do concreto asfáltico, tem início a rolagem. Como norma geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, temperatura essa fixada, experimentalmente, para cada caso.

Caso sejam empregados rolos de pneus, de pressão variável, inicia-se a rolagem com baixa pressão, a qual deve ser aumentada à medida que a mistura seja compactada, e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas.

A compactação deve ser iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista. Nas curvas, de acordo com a superelevação, a compactação deve começar sempre do ponto mais baixo para o ponto mais alto. Cada passada do rolo deve ser recoberta na seguinte de, pelo menos, metade da largura rolada. Em qualquer caso, a operação de

rolagem perdurará até o momento em que seja atingida a compactação especificada.

Durante a rolagem não são permitidas mudanças de direção e inversões bruscas da marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém – rolado. As rodas do rolo devem ser umedecidas adequadamente, de modo a evitar a aderência da mistura.

5.4.7 Abertura ao tráfego

Os revestimentos recém-acabados devem ser mantidos sem tráfego, até o seu completo resfriamento.

6 Manejo ambiental

Para execução do concreto asfáltico são necessários trabalhos envolvendo a utilização de asfalto e agregados, além da instalação de usina misturadora.

Os cuidados observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção, a estocagem e a aplicação de agregados, assim como a operação da usina.

NOTA: Devem ser observadas as prescrições estabelecidas nos Programas Ambientais que integram o Projeto Básico Ambiental – PBA.

6.1 Agregados

No decorrer do processo de obtenção de agregados de pedreiras e areias devem ser considerados os seguintes cuidados principais:

- a) caso utilizadas instalações comerciais, a brita e a areia somente são aceitas após apresentação da licença ambiental de operação da pedreira/areal, cuja cópia deve ser arquivada junto ao Livro de Ocorrências da Obra;
- b) não é permitida a localização da pedreira e das instalações de britagem em área de preservação ambiental;
- c) planejar adequadamente a exploração da pedreira e do areal, de modo a minimizar os impactos decorrentes da exploração e a

possibilitar a recuperação ambiental após o término das atividades exploratórias;

- d) impedir as queimadas;
- e) seguir as recomendações constantes da Norma DNER-ES 279 para os caminhos de serviço;
- f) construir, junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para retenção do pó de pedra eventualmente produzido em excesso;
- g) além destas, devem ser atendidas, no que couber, as recomendações da DNER ISA-07 – Instrução de Serviço Ambiental: impactos da fase de obras rodoviárias – causas/ mitigação/ eliminação.

6.2 Cimento asfáltico

Instalar os depósitos em locais afastados de cursos d'água.

Vedar o descarte do refugo de materiais usados na faixa de domínio e em áreas onde possam causar prejuízos ambientais.

Recuperar a área afetada pelas operações de construção / execução, imediatamente após a remoção da usina e dos depósitos e a limpeza do canteiro de obras.

As operações em usinas asfálticas a quente englobam:

- a) estocagem, dosagem, peneiramento e transporte de agregados frios;
- b) transporte, peneiramento, estocagem e pesagem de agregados quentes;
- c) transporte e estocagem de filer;
- d) transporte, estocagem e aquecimento de óleo combustível e do cimento asfáltico.

Os agentes e fontes poluidoras compreendem:

AGENTES E FONTES POLUIDORAS

AGENTE POLUIDOR	FONTES POLUIDORAS
I. Emissão de partículas	A principal fonte é o secador rotativo. Outras fontes são: peneiramento, transferência e manuseio de agregados, balança, pilhas de estocagem e tráfego de veículos e vias de acesso.
II. Emissão de gases	Combustão do óleo: óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Misturador de asfalto: hidrocarbonetos. Aquecimento de cimento asfáltico: hidrocarbonetos. Tanques de estocagem de óleo combustível e de cimento asfáltico: hidrocarbonetos.
III. Emissões Fugitivas	As principais fontes são pilhas de estocagem ao ar livre, carregamento dos silos frios, vias de tráfego, áreas de peneiramento, pesagem e mistura.

NOTA: Emissões Fugitivas - São quaisquer lançamentos ao ambiente, sem passar primeiro por alguma chaminé ou duto projetados para corrigir ou controlar seu fluxo.

Em função destes agentes devem ser obedecidos os itens 6.3 e 6.4.

6.3 Instalação

Impedir a instalação de usinas de asfalto a quente a uma distancia inferior a 200 m (duzentos metros), medidos a partir da base da chaminé, de residências, de hospitais, clínicas, centros de reabilitação, escolas asilos, orfanatos creches, clubes esportivos, parques de diversões e outras construções comunitárias.

Definir no projeto executivo, áreas para as instalações industriais, de maneira tal que se consiga o mínimo de agressão ao meio ambiente.

O Executante será responsável pela obtenção da licença de instalação/operação, assim como pela manutenção e condições de funcionamento da usina dentro do prescrito nesta Norma.

6.4 Operação

Instalar sistemas de controle de poluição do ar constituídos por ciclones e filtro de mangas ou por equipamentos que atendam aos padrões estabelecidos na legislação.

Apresentar junto com o projeto para obtenção de licença, os resultados de medições em chaminés que comprovem a capacidade do equipamento de controle

proposto, para atender aos padrões estabelecidos pelo órgão ambiental.

Dotar os silos de estocagem de agregado frio de proteções lateral e cobertura, para evitar dispersão das emissões fugitivas durante a operação de carregamento.

Enclausurar a correia transportadora de agregado frio.

Adotar procedimentos de forma que a alimentação do secador seja feita sem emissão visível para a atmosfera.

Manter pressão negativa no secador rotativo, enquanto a usina estiver em operação, para evitar emissões de partículas na entrada e na saída.

Dotar o misturador, os silos de agregado quente e as peneiras classificatórias do sistema de controle de poluição do ar, para evitar emissões de vapores e partículas para a atmosfera.

Fechar os silos de estocagem de mistura asfáltica.

Pavimentar e manter limpas as vias de acesso internas, de tal modo que as emissões provenientes do tráfego de veículos não ultrapassem 20% de opacidade.

Dotar os silos de estocagem de filer de sistema próprio de filtragem a seco.

Adotar procedimentos operacionais que evitem a emissão de partículas provenientes dos sistemas de limpeza dos filtros de mangas e de reciclagem do pó retido nas mangas.

Acionar os sistemas de controle de poluição do ar antes dos equipamentos de processo.

Manter em boas condições todos os equipamentos de processo e de controle.

Dotar as chaminés de instalações adequadas para realização de medições.

Substituir o óleo combustível por outra fonte de energia menos poluidora (gás ou eletricidade) e estabelecer barreiras vegetais no local, sempre que possível.

7 Inspeção**7.1 Controle dos insumos**

Todos os materiais utilizados na fabricação de Concreto Asfáltico (Insumos) devem ser examinados em laboratório, obedecendo a metodologia indicada pelo DNIT, e satisfazer às especificações em vigor.

7.1.1 Cimento asfáltico

O controle da qualidade do cimento asfáltico consta do seguinte:

- 01 ensaio de penetração a 25°C (DNER-ME 003), para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio do ponto de fulgor, para todo carregamento que chegar à obra (DNER-ME 148);
- 01 índice de susceptibilidade térmica para cada 100t, determinado pelos ensaios DNER-ME 003 e NBR 6560;
- 01 ensaio de espuma, para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio de viscosidade "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004), para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio de viscosidade "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004) a diferentes temperaturas, para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura, para cada 100t.

7.1.2 Agregados

O controle da qualidade dos agregados consta do seguinte:

a) Ensaios eventuais

Somente quando houver dúvidas ou variações quanto à origem e natureza dos materiais.

- ensaio de desgaste Los Angeles (DNER-ME 035);
- ensaio de adesividade (DNER-ME 078 e DNER-ME 079). Se o concreto asfáltico contiver dope também devem ser executados os ensaios de RTFOT (ASTM D-2872) ou ECA (ASTM-D-

1754) e de degradação produzida pela umidade (AASHTO-283/89 e DNER-ME 138);

- ensaio de índice de forma do agregado graúdo (DNER-ME 086);

b) Ensaios de rotina

- 02 ensaios de granulometria do agregado, de cada silo quente, por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083);
- 01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo, por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 054);
- 01 ensaio de granulometria do material de enchimento (filer), por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083).

7.2 Controle da produção

O controle da produção (Execução) do Concreto Asfáltico deve ser exercido através de coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória de acordo com o Plano de Amostragem Aleatória (vide item 7.4).

7.2.1 Controle da usinagem do concreto asfáltico

a) Controles da quantidade de ligante na mistura

Devem ser efetuadas extrações de asfalto, de amostras coletadas na pista, logo após a passagem da acabadora (DNER-ME 053).

A porcentagem de ligante na mistura deve respeitar os limites estabelecidos no projeto da mistura, devendo-se observar a tolerância máxima de $\pm 0,3$.

Deve ser executada uma determinação, no mínimo a cada 700m² de pista.

b) Controle da graduação da mistura de agregados

Todos os materiais utilizados na fabricação de Concreto Asfáltico (Insumos) devem ser examinados em laboratório, obedecendo a metodologia indicada pelo DNIT, e satisfazer às especificações em vigor.

7.1.1 Cimento asfáltico

O controle da qualidade do cimento asfáltico consta do seguinte:

- 01 ensaio de penetração a 25°C (DNER-ME 003), para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio do ponto de fulgor, para todo carregamento que chegar à obra (DNER-ME 148);
- 01 índice de susceptibilidade térmica para cada 100t, determinado pelos ensaios DNER-ME 003 e NBR 6560;
- 01 ensaio de espuma, para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio de viscosidade "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004), para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio de viscosidade "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004) a diferentes temperaturas, para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura, para cada 100t.

7.1.2 Agregados

O controle da qualidade dos agregados consta do seguinte:

a) Ensaios eventuais

Somente quando houver dúvidas ou variações quanto à origem e natureza dos materiais.

- ensaio de desgaste Los Angeles (DNER-ME 035);
- ensaio de adesividade (DNER-ME 078 e DNER-ME 079). Se o concreto asfáltico tiver também devem ser executados os ensaios de RTFOT (ASTM D-2872) ou ECA (ASTM-D-

1754) e de degradação produzida pela umidade (AASHTO-283/89 e DNER-ME 138);

- ensaio de índice de forma do agregado graúdo (DNER-ME 086);

b) Ensaios de rotina

- 02 ensaios de granulometria do agregado, de cada silo quente, por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083);
- 01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo, por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 054);
- 01 ensaio de granulometria do material de enchimento (filer), por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083).

7.2 Controle da produção

O controle da produção (Execução) do Concreto Asfáltico deve ser exercido através de coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória de acordo com o Plano de Amostragem Aleatória (vide item 7.4).

7.2.1 Controle da usinagem do concreto asfáltico

a) Controles da quantidade de ligante na mistura

Devem ser efetuadas extrações de asfalto, de amostras coletadas na pista, logo após a passagem da acabadora (DNER-ME 053).

A porcentagem de ligante na mistura deve respeitar os limites estabelecidos no projeto da mistura, devendo-se observar a tolerância máxima de $\pm 0,3$.

Deve ser executada uma determinação, no mínimo a cada 700m² de pista.

b) Controle da graduação da mistura de agregados

Deve ser procedido o ensaio de granulometria (DNER-ME 083) da mistura dos agregados resultantes das extrações citadas na alínea "a". A curva granulométrica deve manter-se contínua, enquadrando-se dentro das tolerâncias especificadas no projeto da mistura.

c) Controle de temperatura

São efetuadas medidas de temperatura, durante a jornada de 8 horas de trabalho, em cada um dos itens abaixo discriminados:

- do agregado, no silo quente da usina;
- do ligante, na usina;
- da mistura, no momento da saída do misturador.

As temperaturas podem apresentar variações de $\pm 5^\circ\text{C}$ das especificadas no projeto da mistura.

d) Controle das características da mistura

Devem ser realizados ensaios Marshall em três corpos-de-prova de cada mistura por jornada de oito horas de trabalho (DNER-ME 043) e também o ensaio de tração por compressão diametral a 25°C (DNER-ME 138), em material coletado após a passagem da acabadora. Os corpos-de-prova devem ser moldados in loco, imediatamente antes do início da compactação da massa.

Os valores de estabilidade, e da resistência à tração por compressão diametral devem satisfazer ao especificado.

7.2.2 Espalhamento e compactação na pista

Devem ser efetuadas medidas de temperatura durante o espalhamento da massa imediatamente antes de iniciada a compactação. Estas temperaturas devem ser as indicadas, com uma tolerância de $\pm 5^\circ\text{C}$.

O controle do grau de compactação - GC da mistura asfáltica deve ser feito, medindo-se a densidade aparente de corpos-de-prova extraídos da mistura

espalhada e compactada na pista, por meio de brocas rotativas e comparando-se os valores obtidos com os resultados da densidade aparente de projeto da mistura.

Devem ser realizadas determinações em locais escolhidos, aleatoriamente, durante a jornada de trabalho, não sendo permitidos GC inferiores a 97% ou superiores a 101%, em relação à massa específica aparente do projeto da mistura (conforme item 7.5, alínea "a").

7.3 Verificação do produto

A verificação final da qualidade do revestimento de Concreto Asfáltico (Produto) deve ser exercida através das seguintes determinações, executadas de acordo com o Plano de Amostragem Aleatório (vide item 7.4):

a) Espessura da camada

Deve ser medida por ocasião da extração dos corpos-de-prova na pista, ou pelo nivelamento, do eixo e dos bordos; antes e depois do espalhamento e compactação da mistura. Admite-se a variação de $\pm 5\%$ em relação às espessuras de projeto.

b) Alinhamentos

A verificação do eixo e dos bordos deve ser feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.. Os desvios verificados não devem exceder $\pm 5\text{cm}$.

c) Acabamento da superfície

Durante a execução deve ser feito em cada estaca da locação o controle de acabamento da superfície do revestimento, com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00m e outra de 1,20m, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, respectivamente. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder a 0,5cm, quando verificada com qualquer das réguas.

O acabamento longitudinal da superfície deve ser verificado por aparelhos

medidores de irregularidade tipo resposta devidamente calibrados (DNER-PRO 164 e DNER-PRO 182) ou outro dispositivo equivalente para esta finalidade. Neste caso o Quociente de Irregularidade - QI deve apresentar valor inferior ou igual a 35 contagens/km ($IRI \leq 2,7$).

d) Condições de segurança

O revestimento de concreto asfáltico acabado deve apresentar Valores de Resistência à Derrapagem - VDR ≥ 45 quando medido com o Pêndulo Britânico (ASTM-E 303) e Altura de Areia - $1,20\text{mm} \geq HS \geq 0,60\text{mm}$ (NF P-98-216-7). Os ensaios de controle são realizados em segmentos escolhidos de maneira aleatória, na forma definida pelo Plano da Qualidade.

7.4 Plano de Amostragem - Controle Tecnológico

O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico da produção e do produto são estabelecidos segundo um Plano de Amostragem aprovado pela Fiscalização, de acordo com a seguinte tabela de controle estatístico de resultados (DNER-PRO 277):

TABELA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL

n	5	6	7	8	9	10	11	12
K	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,19	1,16
α	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,13	0,10

TABELA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL
(continuação)

n	13	14	15	16	17	19	21
K	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
α	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01

n = n° de amostras,
k = coeficiente multiplicador,
 α = risco do Executante

7.5 Condições de conformidade e não conformidade

Todos os ensaios de controle e determinações relativos à produção e ao produto, realizados de acordo com o Plano de Amostragem citado em 7.4, deverão cumprir

as Condições Gerais e Específicas desta Norma, e estar de acordo com os seguintes critérios:

- a) Quando especificada uma faixa de valores mínimos e máximos devem ser verificadas as seguintes condições:

$\bar{X} - ks < \text{valor mínimo especificado}$ ou $\bar{X} + ks > \text{valor máximo de projeto}$: Não Conformidade;

$\bar{X} - ks \geq \text{valor mínimo especificado}$ ou $\bar{X} + ks \leq \text{valor máximo de projeto}$: Conformidade;

Sendo:

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Onde:

x_i - valores individuais

$\bar{X}$ - média da amostra

s - desvio padrão da amostra.

k - coeficiente tabelado em função do número de determinações.

n - número de determinações.

- b) Quando especificado um valor mínimo a ser atingido devem ser verificadas as seguintes condições:

Se $\bar{x} - ks < \text{valor mínimo especificado}$: Não Conformidade;

Se $\bar{x} - ks \geq \text{valor mínimo especificado}$: Conformidade.

Os resultados do controle estatístico serão registrados em relatórios periódicos de acompanhamento de acordo com a norma DNIT 011/2004-PRO a qual estabelece que sejam tomadas providências para tratamento das "Não-Conformidades" da Produção e do Produto.

Os serviços só devem ser aceitos se atenderem às prescrições desta Norma.

Todo detalhe incorreto ou mal executado deve ser corrigido.

Qualquer serviço só deve ser aceito se as correções executadas colocarem-no em conformidade com o disposto nesta Norma; caso contrário será rejeitado.

8 Critérios de medição

Os serviços conformes serão medidos de acordo com os critérios estabelecidos no Edital de Licitação dos serviços ou, na falta destes critérios, de acordo com as seguintes disposições gerais:

- a) o concreto asfáltico será medido em toneladas de mistura efetivamente aplicada na pista. Não serão motivos de medição:

mão-de-obra, materiais (exceto cimento asfáltico), transporte da mistura da usina à pista e encargos quando estiverem incluídos na composição do preço unitário;

- b) a quantidade de cimento asfáltico aplicada é obtida pela média aritmética dos valores medidos na usina, em toneladas;
- c) a transporte do cimento asfáltico efetivamente aplicado será medido com base na distância entre a refinaria e o canteiro de serviço;
- d) nenhuma medição será processada se a ela não estiver anexado um relatório de controle da qualidade contendo os resultados dos ensaios e determinações devidamente interpretados, caracterizando a qualidade do serviço executado.

_____ /Índice Geral

Índice Geral

Abertura ao tráfego	5.4.7	8	Índice geral		14
Abstract		1	Inspeção	7.....	9
Agregado graúdo	5.1.2.1	4	Instalação	6.3.....	9
Agregado miúdo	5.1.2.2	4	Manejo ambiental	6.....	8
Agregados	5.1.2;6.1;7.1.2	4;8;10	Material de enchimento (filer)	5.1.2.3.....	4
Aquecimento dos agregados	5.4.3	7	Materiais	5.1.....	4
Cimento asfáltico	5.1.1; 6.2; 7.1.1 ..	4; 8; 10	Melhorador de adesividade	5.1.2.4.....	4
Composição da mistura	5.2	5	Objetivo	1.....	2
Condições de conformidade e não conformidade	7.5	12	Operação	6.4.....	9
Condições específicas	5	4	Pintura de ligação	5.4.1.....	7
Condições gerais	4	3	Plano de amostragem - controle tecnológico	7.4.....	12
Controle da usinagem do concreto asfáltico	7.2.1	10	Prefácio		1
Controle da produção	7.2	10	Produção do concreto asfáltico	5.4.4.....	7
Controle dos insumos	7.1	9	Referências normativas	2.....	2
Critérios de medição	8	13	Resumo		1
Definição	3	3	Sumário		1
Distribuição e compactação da mistura	5.4.6	7	Temperatura do ligante	5.4.2.....	7
Equipamentos	5.3	5	Transporte do concreto asfáltico	5.4.5.....	7
Espalhamento e compactação na pista	7.2.2	11	Verificação do produto	7.3.....	11
Execução	5.4	7			

ANEXO D – Norma DNIT 385/99-ES



MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR
DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA
 Rodovia Presidente Dutra km 163 - Centro Rodoviário, Parada de Lucas
 Rio de Janeiro, RJ - CEP 21240-330
Norma rodoviária
Especificação de Serviço
DNER-ES 385/99
p. 01/15

Pavimentação - concreto asfáltico com asfalto polímero

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

RESUMO

Este documento define a sistemática empregada na execução de camada do pavimento através da confecção de mistura asfáltica a quente em usina apropriada utilizando asfalto modificado por polímero, agregados e material de enchimento (filer). Estabelece os requisitos concernentes a material, equipamento, execução e controle de qualidade dos materiais empregados, além dos critérios para aceitação, rejeição e medição dos serviços.

ABSTRACT

This document presents procedures for asphalt-polymer concrete construction. It presents requirements concerning materials, equipment, execution, ambiental preserving, quality control and the criteria for acceptance, rejection and measurement of the services.

SUMÁRIO

- 0 Prefácio
- 1 Objetivo
- 2 Referências
- 3 Definição

- 4 Condições gerais
- 5 Condições específicas
- 6 Manejo ambiental
- 7 Inspeção
- 8 Critérios de medição
- 9 Recomendação

0 PREFÁCIO

Esta Norma estabelece a sistemática empregada na execução e no controle da qualidade do serviço em epígrafe.

1 OBJETIVO

Fixar a sistemática a ser usada na fabricação de mistura asfáltica para a construção de camada de revestimento de acordo com os alinhamentos, greide e seção transversal de projeto.

Macrodescriptores MT : pavimentação

Microdescriptores DNER : concreto asfáltico, mistura asfáltica, asfalto polímero

Palavras-chave IRRD/ IPR : concreto asfáltico (4989), mistura asfáltica (9047), asfalto polímero

Descriptores SINORTEC : asfalto, asfalto polímero, pavimento

Aprovada pelo Conselho Administrativo em 09/03/99, Resolução nº 06/99, Sessão nº CA/03/99

Autor: DNER/DrDTc (IPR)

Processo nº 51100009011/98.08

2 REFERÊNCIAS

Para entendimento desta Norma deverão ser consultados os documentos seguintes:

- a) DNER-EM 396/99 - Cimento asfáltico modificado por polímero;
- b) DNER-ES 279/97 - Terraplenagem - caminhos de serviço;
- c) DNER-ME 003/94 - Material betuminoso - determinação da penetração;
- d) DNER-ME 035/98 - Agregados - determinação da abrasão “**Los Angeles**”;
- e) DNER-ME 043/95 - Misturas betuminosas a quente - Ensaio **Marshall**;
- f) DNER-ME 053/94 - Misturas betuminosas - percentagem de betume;
- g) DNER-ME 054/94 - Equivalente de areia;
- h) DNER-ME 083/98 - Agregados - análise granulométrica;
- i) DNER-ME 086/94 - Agregado - determinação do índice de forma;
- j) DNER-ME 089/94 - Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
- l) DNER-ME 138/94 - Misturas betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral;
- m) DNER-ME 148/94 - Material betuminoso - determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto Cleveland);
- n) DNER-ME 382/99 - Determinação da recuperação elástica de materiais asfálticos modificados por polímeros, pelo método do ductilômetro;
- o) DNER-ME 384/99 - Estabilidade ao armazenamento de asfalto polímero;
- p) DNER-PRO 164/94 - Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e **Maysmeter**);
- q) DNER/PRO 182/94 - Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e **Maysmeter**);
- r) DNER-PRO 277/97 - Metodologia para controle estatístico de obras e serviços;
- s) ABNT NBR-6560/85 - Materiais betuminosos - determinação de ponto de amolecimento;
- t) LCPC-RG-2-1971 - Determinação da rugosidade superficial pela altura da areia;
- u) Pesquisa de asfaltos modificados por polímeros - Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento, IPR/DNER- 1998.

3 DEFINIÇÃO

Para os efeitos desta Norma é adotada a definição seguinte:

Concreto asfáltico com asfalto polímero - mistura executada em usina apropriada, com características específicas, constituída de agregado, material de enchimento (filer) se necessário, e cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero do tipo SBS, espalhada e comprimida a quente.

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 O concreto asfáltico com asfalto polímero pode ser empregado como revestimento, base, regularização ou reforço do pavimento.

4.2 Não é permitida a execução dos serviços, objeto desta Especificação, sob condições climáticas adversas, tais como chuva, ou temperaturas inferiores a 10°C.

4.3 Todo o carregamento de cimento asfáltico modificado por polímero que chegar à obra deve apresentar certificado de análise além de trazer indicação clara da sua procedência, do tipo, da quantidade do seu conteúdo e da distância de transporte até o canteiro de serviço.

5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1 Material

Os materiais constituintes do concreto asfáltico com asfalto polímero são agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (filer) se necessário, e cimento asfáltico modificado por polímero do tipo SBS, os quais devem satisfazer as especificações aprovadas pelo DNER. O concreto asfáltico com asfalto polímero deve satisfazer aos requisitos exigidos nesta Especificação.

5.1.1 Cimento asfáltico modificado por polímero

Devem ser empregados cimentos asfálticos de petróleo modificados por polímero do tipo SBS.

5.1.2 Agregados

5.1.2.1 Agregado graúdo

O agregado graúdo pode ser pedra, escória, seixo rolado, ou outro material que seja indicado nas Especificações Complementares. O agregado graúdo deve constituir-se de fragmentos sãos, duráveis, livres de torrões de argila, substâncias nocivas e apresentar as características seguintes:

- a) desgaste Los Angeles igual ou inferior a 55% (DNER-ME 035); admitindo-se agregados com valores maiores, no caso de terem apresentado desempenho satisfatório em utilização anterior;
- b) índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086);
- c) durabilidade, perda inferior a 12% (DNER-ME 089).

5.1.2.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos. Suas partículas individuais devem ser resistentes, apresentar moderada angulosidade, estando livres de torrões de argila e de substâncias nocivas. Deve apresentar equivalente de areia igual ou superior a 55%. (DNER-ME 054).

5.1.2.3 Material de enchimento (filer)

Deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, não plásticos, secos e isentos de grumos, tais como cimento Portland, cal extinta, pó calcário, cinza volante, ou outros, e que atendam à seguinte granulometria (DNER-ME 083):

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso
ABNT	Abertura, mm	
Nº 40	0,42	100
Nº 80	0,18	95-100
Nº 200	0,075	65-100

5.2 Composição da mistura

5.2.1 A composição do concreto asfáltico com asfalto polímero deve satisfazer os requisitos do quadro seguinte com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria e aos percentuais de cimento asfáltico.

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso (faixas)			Tolerância na curva de projeto (%)
ABNT	Abertura mm	A	B	C	
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95-100	100	-	± 7
1"	25,4	75-100	95-100	-	± 7
3/4"	19,1	60-90	80-100	100	± 7
1/2"	12,7	-	-	85-100	± 7
3/8"	9,5	35-65	45-80	75-100	± 7
Nº 4	4,8	25-50	28-60	50-85	± 5
Nº 10	2,0	20-40	20-45	30-75	± 5
Nº 40	0,42	10-30	10-32	15-40	± 5
Nº 80	0,18	5-20	8-20	8-30	± 3
Nº 200	0,075	1-8	3-8	5-10	± 2
Ligante polimerizado solúvel no tricloroetileno, %		4-6 Camada de ligação (Binder)	4-7 Camada de ligação e rolamento	5-7, 5 Camada de rolamento	± 0,3

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

As tolerâncias constantes no quadro são permitidas, desde que os limites da faixa não sejam ultrapassados.

5.2.2 As percentagens de ligante referem-se 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) deve ser adotado o Ensaio **Marshall** (DNER-ME 043) para a verificação das condições de vazios, estabilidade, fluência e resistência da mistura asfáltica segundo os seguintes valores:

Características	Camada de rolamento	Camada de ligação (binder)
Percentagem de vazios	3 a 5	4 a 6
Relação betume-vazios	75 a 82	65 a 72
Estabilidade, mínima	500 kgf (75 golpes)	500 kgf (75 golpes)
Fluência, mm.	2,0 a 4,5	2,0 a 4,5
Resistência à tração por compressão diametral a 25°C, kgf/cm ²	7,0 a 12,0	7,0 a 12,0

b) as Especificações Complementares podem fixar a energia de compactação.

5.3 Equipamento

Todo equipamento, antes do início da execução da obra, deve ser examinado, devendo estar de acordo com esta Especificação. Os equipamentos requeridos são os seguintes:

5.3.1 Depósito para cimento asfáltico modificado por polímero

Os depósitos para o cimento asfáltico devem possuir dispositivos capazes de aquecer o ligante nas temperaturas fixadas nesta Especificação. Estes dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado. Deve ser instalado um sistema de recirculação para o cimento asfáltico, de modo a garantir a circulação, desembaraçada e contínua, do depósito ao misturador, durante todo o período de operação. A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

5.3.2 Depósito para agregados

Os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e devem ser divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as frações apropriadas do agregado. Cada compartimento deve possuir dispositivos adequados de descarga. Deve haver um silo para o filer, conjugado com dispositivos para a sua dosagem.

5.3.3 Usina para misturas asfálticas modificadas por polímero

5.3.3.1 A usina deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme e provida de coletor de pó. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90°C a 210°C (precisão $\pm 1^\circ\text{C}$), deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada além disso, com pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados na descarga do secador, com dispositivos para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de $\pm 5^\circ\text{C}$.

5.3.3.2 Pode, também, ser utilizada uma usina do tipo tambor/secador/misturador, provida de coletor de pó, alimentador de filer, sistema de descarga da mistura asfáltica com comporta, ou

alternativamente, em silos de estocagem. A usina deve possuir silos de agregados múltiplos, com pesagem dinâmica (precisão de $\pm 5\%$) e assegurar a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

5.3.4 Caminhões para transporte da mistura

Os caminhões, tipo basculante, para o transporte do concreto asfáltico, devem ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, ou solução de cal, de modo a evitar a aderência da mistura às chapas. A utilização de produtos susceptíveis de dissolver o ligante asfáltico (óleo diesel, gasolina, e outros) não são permitidos.

5.3.5 Equipamento para espalhamento

O equipamento para espalhamento e acabamento deve ser constituído de pavimentadoras automotrizes, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento requeridos. As acabadoras devem ser equipadas com parafusos sem fim ou outro sistema de misturação, para colocar a mistura exatamente na faixa, e possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de marchas para a frente e para trás. As acabadoras devem ser equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade.

5.3.6 Equipamento para a compactação

O equipamento para compactação é constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório. Os rolos pneumáticos, autopropulsores, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5kgf/cm² a 8,4kgf/cm² (35 psi a 120 psi).

O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura à densidade requerida, enquanto esta se encontrar em condições de trabalhabilidade.

5.4 Execução

5.4.1 Antes de iniciar a construção da camada de concreto asfáltico, a superfície subjacente deve estar limpa e pintada ou imprimada. Sendo decorridos mais de sete dias entre a execução da imprimação e a do revestimento, ou no caso de ter havido trânsito sobre a superfície imprimada, ou, ainda ter sido a imprimação recoberta com areia, pó-de-pedra, deve ser feita uma pintura de ligação.

5.4.2 A temperatura de aquecimento do asfalto polímero deve ser em função do teor de polímero. A temperatura conveniente para aquecimento do ligante é de 150°C acrescida de 3°C para cada 1% de polímero: 150°C + 3°C / 1% polímero. A temperatura máxima deve ser de 180°C.

5.4.3 Os agregados devem ser aquecidos a temperatura de 10 °C a 15 °C, acima da temperatura do cimento asfáltico e inferior a 183°C.

5.4.4 Produção do concreto asfáltico modificado por polímero

A produção do concreto asfáltico é efetuada em usinas apropriadas, conforme anteriormente especificado.

5.4.5 Transporte da mistura

5.4.5.1 A mistura produzida deve ser transportada da usina ao ponto de aplicação, em veículos basculantes especificados no item 5.3.4.

5.4.5.2 Para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada, cada carregamento deve ser coberto com lona ou outro material aceitável, com tamanho suficiente para proteger a mistura. Recomenda-se que a distância de transporte não ultrapasse 30km.

5.4.6 Distribuição e compactação da mistura

5.4.6.1 A distribuição do concreto asfáltico com asfalto polímero deve ser feita por máquinas acabadoras, conforme especificado no item 5.3.5.

5.4.6.2 Caso ocorram irregularidades na superfície da camada, estas devem ser corrigidas pela adição manual de concreto asfáltico polímero, sendo o espalhamento efetuado por meio de ancinhos e rodos metálicos (rastelos).

5.4.6.3 Após a distribuição do concreto asfáltico, tem início a rolagem. Como norma geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, temperatura essa fixada, experimentalmente, para cada caso.

5.4.6.4 A temperatura recomendável para a compactação da mistura é de 140°C acrescida de 3°C para cada 1% de polímero: 140°C + 3°C / 1% polímero.

5.4.6.5 Iniciar a rolagem com rolo pneumático com baixa pressão nos pneus, a qual será aumentada à medida que a mistura for sendo compactada e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas.

5.4.6.6 A compactação é iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista. Nas curvas, a compactação deve começar sempre do ponto mais baixo para o mais alto. A operação de rolagem perdura até o momento em que a compactação especificada é atingida.

5.4.6.7 Durante a rolagem não são permitidas mudanças de direção e inversões bruscas de marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém-rolado. As rodas do rolo devem ser umedecidas adequadamente, de modo a evitar a aderência da mistura.

5.4.7 Abertura ao tráfego

Os revestimentos recém-acabados devem ser mantidos sem tráfego, até o seu completo resfriamento.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

6 MANEJO AMBIENTAL

Para execução de revestimento asfáltico do tipo concreto asfáltico modificado por polímero são necessários trabalhos envolvendo a utilização de asfalto polímero e agregados, além da instalação de usina misturadora.

Os cuidados observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção e aplicação de agregados, o estoque de ligante asfáltico e operação da usina.

6.1 Agregados

No decorrer do processo de obtenção de agregados de pedreiras devem ser considerados os seguintes cuidados principais:

6.1.1 A brita e a areia somente são aceitas após apresentação da licença ambiental de operação da pedreira/areal cuja cópia da licença deve ser arquivada junto ao Livro de Ocorrências da obra.

6.1.2 Evitar a localização da pedreira e das instalações de britagem em área de preservação ambiental.

6.1.3 Planejar adequadamente a exploração da pedreira de modo a minimizar os danos inevitáveis durante a exploração e possibilitar a recuperação ambiental após a retirada de todos os materiais e equipamentos.

6.1.4 Impedir queimadas como forma de desmatamento.

6.1.5 Seguir as recomendações constantes da Norma DNER-ES 279 para os Caminhos de Serviço.

6.1.6 Construir, junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para retenção do pó de pedra eventualmente produzido em excesso ou por lavagem da brita, evitando seu carreamento para cursos d'água.

6.1.7 Exigir a documentação atestando a regularidade das instalações pedreira/areal/usina, assim como sua operação, junto ao órgão ambiental competente, caso estes materiais sejam fornecidos por terceiros.

6.2 Cimento asfáltico modificado por polímero

6.2.1 Instalar os depósitos em locais afastados de cursos d'água.

6.2.2 Vedar o refugo de materiais usados à beira da estrada ou em outros locais onde possam causar prejuízos ambientais.

6.2.3 Recuperar a área afetada pelas operações de construção/execução, mediante a remoção da usina e dos depósitos e à limpeza dos canteiros de obra.

As operações em usinas asfálticas a quente englobam:

- a) estocagem, dosagem, peneiramento e transporte dos agregados frios;
- b) transporte, peneiramento, estocagem e pesagem dos agregados quentes;

- c) transporte e estocagem do filer;
d) transporte, estocagem e aquecimento de óleo combustível e asfalto polímero.

Agentes e fontes poluidoras

Agente poluidor	Fontes poluidoras
I. Emissão de partículas	A principal fonte é o secador rotativo. Outras fontes são: peneiramento, transferência e manuseio de agregados, balança, pilhas de estocagem e tráfego de veículos e vias de acesso.
II. Emissão de gases	Combustão do óleo: óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Misturador de asfalto: hidrocarbonetos. Aquecimento de cimento asfáltico: hidrocarbonetos. Tanques de estocagem de óleo combustível e de cimento asfáltico: hidrocarbonetos.
III. Emissões fugitivas	As principais fontes são pilhas de estocagem ao ar livre, carregamento dos silos frios, vias de tráfego, área de peneiramento, pesagem e mistura. São quaisquer lançamentos ao ambiente, sem passar primeiro por alguma chaminé ou duto projetados para corrigir ou controlar o seu fluxo.

6.3 Quanto à instalação

6.3.1 Impedir a instalação de usinas de asfalto a quente a uma distância inferior a 200m (duzentos metros), medidos a partir da base da chaminé, de residências, hospitais, clínicas, centros de reabilitação, escolas, asilos, orfanatos, creches, clubes esportivos, parques de diversões e outras construções comunitárias.

6.3.2 Definir no projeto executivo, áreas para as instalações industriais, de maneira tal, que se consiga o mínimo de agressão ao meio ambiente.

6.3.3 Atribuir à executante, responsabilidade pela obtenção da licença de instalação/operação, assim como, manter a usina em condições de funcionamento dentro do prescrito nestas especificações.

6.4 Operação

6.4.1 Instalar sistemas de controle de poluição do ar constituídos por ciclone e filtro de mangas ou de equipamentos que atendam aos padrões estabelecidos nas legislações vigentes.

6.4.2 Apresentar junto com o projeto para obtenção de licença, resultados de medições em chaminés, que comprovem a capacidade do equipamento de controle proposto para atender aos padrões estabelecidos pelo órgão ambiental.

6.4.3 Dotar os silos de estocagem de agregados frios de proteções laterais e cobertura, para evitar a dispersão das emissões fugitivas durante a operação de carregamento.

6.4.4 Enclausurar a correia transportadora de agregados frios.

6.4.5 Adotar procedimentos de forma que a alimentação do secador seja feita sem emissão visível para a atmosfera.

6.4.6 Manter pressão negativa no secador rotativo, enquanto a usina estiver em operação, para que sejam evitadas emissões de partículas na entrada e saída do mesmo.

6.4.7 Dotar o misturador, os silos de agregados quentes e as peneiras classificatórias de sistema de exaustão de conexão ao sistema de controle de poluição do ar, para evitar emissões de vapores e partículas para a atmosfera.

6.4.8 Fechar os silos de estocagem de massa asfáltica.

6.4.9 Pavimentar e manter limpas as vias de acesso internas, de tal modo que as emissões provenientes do tráfego de veículos não ultrapassem 20% de opacidade.

6.4.10 Dotar os silos de estocagem de filer de sistema próprio de filtragem a seco.

6.4.11 Adotar procedimentos operacionais que evitem a emissão de partículas provenientes dos sistemas de limpeza dos filtros de mangas e de reciclagem do pó retido nas mangas.

6.4.12 Acionar os sistemas de controle de poluição do ar antes dos equipamentos de processo.

6.4.13 Manter em boas condições de operação todos os equipamentos de processo e de controle.

6.4.14 Dotar as chaminés de instalações adequadas para realização de medições.

6.4.15 Substituir o óleo combustível por outra fonte de energia menos poluidora (gás ou eletricidade) e estabelecer barreiras vegetais no local, sempre que possível.

7 INSPEÇÃO

7.1 Controle de qualidade do material

Todos os materiais devem ser examinados em laboratório, obedecendo a metodologia indicada pelo DNER, devendo satisfazer as especificações em vigor.

7.1.1 Asfalto polímero

O controle de qualidade do cimento asfáltico consta dos seguintes ensaios:

a) Para todo carregamento que chegar à obra:

- 01 ensaio de penetração a 25°C (DNER-ME 003);
- 01 ensaio de ponto de fulgor (DNER-ME 148);
- 01 ensaio de ponto de amolecimento (ABNT NBR-6560);
- 01 ensaio de espuma;
- 01 ensaio de recuperação elástica a 25°C (DNER-ME 382);
- 01 ensaio de estabilidade ao armazenamento (DNER-ME 384).

b) Para cada 500t:

01 ensaio de infra-vermelho para determinação do teor de polímero, sendo permitida uma tolerância de $\pm 0,4\%$ do teor de projeto.

7.1.2 Agregados

O controle de qualidade dos agregados consta do seguinte:

02 ensaios de granulometria do agregado, de cada silo quente, por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083);

01 ensaio de desgaste Los Angeles, por mês, ou quando houver variação da natureza do material (DNER-ME 035);

01 ensaio de índice de forma, por mês, ou quando houver variação da natureza do material (DNER-ME 086);

01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo, por mês, ou quando houver variação da natureza do material (DNER-ME 054);

01 ensaio de granulometria do material de enchimento (filer), por mês (DNER-ME 083);

01 ensaio de adesividade por jornada de 8 horas de trabalho.

7.2 Controle da execução

O controle da execução é exercido através de coleta aleatória de amostras, ensaios e determinações.

7.2.1 Controle da usinagem do concreto asfáltico com asfalto polímero

7.2.1.1 Controle da quantidade de asfalto polímero na mistura

Devem ser efetuadas extrações de ligante de amostras coletadas na saída da acabadora (DNER-ME 053). A percentagem de ligante pode variar, no máximo, $\pm 0,3\%$, da fixada no projeto.

7.2.1.2 Controle da graduação da mistura de agregados

Deve ser procedido o ensaio de granulometria (DNER-ME 083) da mistura dos agregados resultantes das extrações citadas no item anterior. A curva granulométrica deve manter-se contínua, enquadrando-se dentro das tolerâncias, especificadas no projeto.

7.2.1.3 Controle de temperatura

Devem ser efetuadas medidas de temperatura, durante a jornada de 8 horas de trabalho, em cada um dos itens abaixo discriminados:

- a) dos agregados, nos silos quentes da usina;
- b) do ligante, na usina;
- c) da mistura, no momento da saída do misturador.

As temperaturas devem apresentar tolerâncias de $\pm 5^\circ\text{C}$ das temperaturas especificadas.

7.2.1.4 Controle das características da mistura

Devem ser realizados ensaios **Marshall** e de Resistência à Tração em corpos-de-prova, por jornada de 8 horas de trabalho.

Os valores de estabilidade e de resistência à tração devem satisfazer ao especificado no item proposto. As amostras devem ser retiradas na saída da acabadora.

7.2.1.5 O número das determinações ou ensaios de controle da usinagem do concreto asfáltico por jornada de 8 horas de trabalho, deve ser definido em função do risco de rejeição de um serviço de boa qualidade a ser assumido pelo executante, conforme a tabela seguinte:

Tabela de amostragem variável														
n	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	21
k	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
α	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
n = n° de amostras				k = coeficiente multiplicador					α = risco do executante					

O número mínimo de determinações por jornada de 8 horas de trabalho é de cinco.

7.2.2 Espalhamento e compactação na pista

7.2.2.1 Temperatura de compactação

Devem ser efetuadas medidas de temperatura durante o espalhamento da massa e imediatamente antes de iniciada a compactação.

Esta temperatura deve ser a indicada para compactação, com uma tolerância de $\pm 5^\circ \text{C}$.

7.2.2.2 Controle do grau de compactação

O controle do grau de compactação - GC da mistura asfáltica deve ser feito através de medidas das densidades aparentes de corpos-de-prova extraídos da mistura espalhada e compactada na pista, por meio de brocas rotativas.

Podem ser empregados outros métodos para determinação da densidade aparente na pista, desde que indicados no projeto.

Devem ser realizadas determinações em locais escolhidos aleatoriamente durante a jornada de trabalho, não sendo permitidos GC inferiores a 97% da densidade de projeto.

O controle do grau de compactação pode, também, ser feito através de medidas das densidades aparentes dos corpos-de-prova extraídos da pista e comparadas com as densidades aparentes de corpos-de-prova moldados no local, desde que autorizado pela Fiscalização. As amostras para a moldagem destes corpos-de-prova devem ser colhidas bem próximas ao local onde serão realizados os furos e antes da sua compactação. Neste caso, $\text{GC} \geq 100\%$.

7.2.2.3 O número de determinações do grau de compactação - GC, é definido em função do risco de rejeição de um serviço de boa qualidade a ser assumido pelo executante, conforme tabela do item 7.2.1.5.

7.3 Verificação final da qualidade

7.3.1 Espessura da camada

Deve ser medida a espessura por ocasião da extração dos corpos-de-prova na pista, ou pelo nivelamento, do eixo e dos bordos, antes e depois do espalhamento e compactação da mistura. Admite-se variação de $\pm 5\%$ em relação às espessuras de projeto.

7.3.2 Alinhamentos

A verificação do eixo e bordos é feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. Pode também ser utilizada a trena. Os desvios verificados não devem exceder $\pm 5\text{cm}$.

7.3.3 Acabamento da superfície

Durante a execução deve ser feito, em cada estaca da locação, o controle de acabamento da superfície do revestimento, com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00m e outra de 1,20m, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, respectivamente. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder a 0,5cm, quando verificada com qualquer das réguas.

O acabamento da superfície deve ser verificado por “aparelhos medidores de irregularidade tipo resposta” devidamente calibrados (DNER-PRO 164 e DNER-PRO 182). Neste caso o Quociente de Irregularidade - QI deve apresentar valor inferior a 35 contagens/km, por km de rodovia.

7.4 Critérios de aceitação e rejeição

7.4.1 Todos os ensaios dos materiais indicados em 7.1 devem atender aos requisitos especificados em 5.1.

7.4.2 Para o controle da usinagem do concreto asfáltico, espalhamento e compactação na pista, devem ser analisados estatisticamente os resultados abaixo e verificadas as condições seguintes:

a) Na usina

Deve ser verificada a faixa de temperatura preconizada nesta Especificação.

b) Na pista

Para a quantidade de ligante na mistura, graduação da mistura de agregados e resistência à tração por compressão diametral em que é especificada uma faixa de valores mínimos e máximos devem ser verificadas as condições seguintes:

$\bar{X} - ks < \text{valor mínimo especificado}$ ou $\bar{X} + ks > \text{valor máximo especificado} \Rightarrow \text{rejeitar o serviço};$

$\bar{X} - ks \geq \text{valor mínimo especificado}$ e $\bar{X} + ks \leq \text{valor máximo especificado} \Rightarrow \text{aceitar o serviço}.$

Sendo:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Onde:

X_i - valores individuais.

$\bar{X}$ - média da amostra.

s - desvio padrão da amostra.

k - coeficiente tabelado em função do número de determinações.

n - número de determinações.

Para os resultados do ensaio de estabilidade **Marshall** (DNER-ME 043) em que é especificado um valor mínimo a ser atingido deve ser verificada a condição seguinte:

Se $\bar{X} - ks < \text{valor mínimo especificado} \Rightarrow \text{rejeitar o serviço};$

Se $\bar{X} - ks \geq \text{valor mínimo especificado} \Rightarrow \text{aceitar o serviço}.$

Para o Grau de Compactação - GC - em que é especificado um valor mínimo a ser atingido deve ser verificada a condição seguinte:

Se $\bar{X} - ks < \text{valor mínimo especificado} \Rightarrow \text{rejeitar o serviço};$

Se $\bar{X} - ks \geq \text{valor mínimo especificado} \Rightarrow \text{aceitar o serviço}.$

7.4.3 Os serviços rejeitados devem ser corrigidos, complementados ou refeitos.

7.4.4 Os resultados do controle estatístico são registrados em relatórios periódicos de acompanhamento e associados à medição dos serviços.

8 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO

Os serviços aceitos são medidos de acordo com os critérios seguintes:

8.1 O concreto asfáltico polímero é medido em toneladas, através da mistura efetivamente aplicada na pista. Não são motivos de medição: mão-de-obra, materiais (exceto ligante asfáltico), transporte da mistura da usina à pista e encargos por estarem incluídos na composição do preço unitário.

8.2 A quantidade de cimento asfáltico modificado aplicado é obtida através da média aritmética dos valores medidos na usina, em toneladas.

8.3 O transporte do cimento asfáltico, efetivamente aplicado, é medido com base na distância entre a refinaria ou fábrica e o canteiro de serviço.

9 RECOMENDAÇÃO

9.1 Os serviços rejeitados poderão ser corrigidos de acordo com as proposições das Instruções para Controle Tecnológico de Serviços de Pavimentação, resolução 1715/87 do Conselho Administrativo do DNER, com as devidas adaptações onde couber.

9.2 Recomenda-se $\alpha = 0,10$ da Tabela de amostragem variável do item 7.2.1.5. A frequência das determinações de campo poderá ser realizada a cada 700m^2 de pista.

ANEXO E – Norma DNER-ME 043/95

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte	MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM		
	Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall		
	Norma rodoviária	Método de Ensaio	DNER-ME 043/95 p.01/11
	RESUMO		
	Este documento, que é norma técnica, apresenta os procedimentos para a determinação da estabilidade e da fluência de misturas betuminosas de cimento asfáltico ou alcatrão, a quente, para uso em pavimentação, com agregado de tamanho de 25,4 mm máximo, por meio da aparelhagem Marshall. Apresenta definições, o preparo de corpos-de-prova e os procedimentos para a obtenção dos resultados.		
	ABSTRACT		
	This document presents the procedure for determination of the stability and flow of hot bituminous paving mixtures containing asphalt cement or tar, with aggregate up to 25,4 mm maximum size, by means of the Marshall apparatus. It presents definitions, test specimens preparation and procedures for obtaining results.		
	SUMÁRIO		
	0 Apresentação 1 Objetivo 2 Referências 3 Definições 4 Aparelhagem 5 Preparação de corpos-de-prova 6 Determinação da estabilidade e da fluência 7 Resultados Anexo normativo 0 APRESENTAÇÃO O presente documento é o resultado da revisão da DNER-ME 043/64, intitulada Ensaio Marshall para misturas betuminosas, com aperfeiçoamento técnico e adaptação à DNER-PRO 101/93, passando a designar Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall.		
	Macrodesscritores MT: ensaio, ensaio em laboratório, método de ensaio, material betuminoso		
	Microdescritores DNER: ensaio, ensaio de laboratório, ensaio mecânico, mistura betuminosa		
	Palavras-chave IRRD/IPR: ensaio (6255), mistura betuminosa (4967), Marshall (6290),		
	Descritores SINORTEC: asfaltos, ensaio mecânico, ensaio de fluência		
Aprovada pelo Conselho Administrativo do DNER em 29/11/95		Autor: DNER/DrDTc (IPR)	
Resolução nº 151/95/, Sessão nº CA/ 41/95.		Revisão e Adaptação da DNER-ME 043/64	
Processo nº 51 100 005797/94-6		à DNER-PRO 101/93.	

DNER-ME 043/95
p.02/11

1 OBJETIVO

Este Método fixa o modo pelo qual se determina a estabilidade e a fluência de misturas betuminosas usinadas a quente, utilizando o aparelho Marshall.

2 REFERÊNCIAS

2.1 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

- a) DNER-ME 043/64 - Ensaio Marshall para misturas betuminosas;
- b) AASHTO Designation T 245-82 (1986) - Resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus;
- c) ASTM D 1559/92 - Resistance to plastic flow of bituminous mixture using Marshall apparatus;
- d) NBR 12891 - Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall.

3 DEFINIÇÕES

3.1 Estabilidade Marshall

Resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo-de-prova, quando moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste método, expressa em N (kgf).

3.2 Fluência Marshall

Deformação total apresentada pelo corpo-de-prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro (centésimos de polegada).

4 APARELHAGEM

Aparelhagem necessária:

- a) prensa capaz de aplicar cargas até 39,2 kN (4000 kgf) com erro inferior de 24,5 N (2,5 kgf), mecânica ou manual, com embolo movimentando-se a uma velocidade de 5 cm por minuto, equipada com um anel dinamométrico com a capacidade de 22,2 kN (2265 kgf), com as sensibilidades de 44,5 N (4,5 kgf) até 4,45 kN (454 kgf) e de 111,2 N (11,34 kgf) entre 4,45 kN (454 kgf) e 22,2 kN (2265 kgf), equipado com um defletômetro, com graduação de 0,0025 mm, para medir encurtamentos e avaliação de carga;
- b) molde de compactação de aço, consistindo de anéis superior e inferior e de uma placa base. A placa base e o anel superior devem encaixar-se perfeitamente nas extremidades do anel inferior. São recomendados três moldes (Figura 1);
- c) repartidores de amostra de 1,3 cm e de 2,5 cm de abertura;
- d) estufa ou placa elétrica capaz de manter temperaturas até 200 °C, com variação de ± 2 °C;
- e) balança com capacidade de 5 kg, com resolução de 1 g, capaz de permitir pesagem hidrostática;
- f) bandeja metálica de cerca de 50 cm x 30 cm x 5 cm;

DNER-ME 043/95

p.03/11

- g) extrator de corpo-de-prova, de aço, em forma de disco (Figura 1);
 - h) peneiras de 25 - 19 - 9,5 - 4,8 e de 2,0 mm de abertura, inclusive tampa e fundo, de acordo com a DNER-EM 035/95; intitulada Peneiras de malha quadrada para análise granulométrica;
 - i) colher de metal, com capacidade de (30-50) mL, possuindo cabo com cerca de 25 cm, semelhante a usada por jardineiro;
 - j) aparelhagem para mistura, preferencialmente mecânica, que produza uma ação homogênea, na temperatura e tempo requeridos, e que a retirada da mistura seja simples, sem perda de material. Em caso de mistura manual, devem ser utilizados recipientes em aço estampado, em forma de calota esférica, fundo chato e munido de duas alças laterais, com capacidade de cerca de 5 litros;
 - l) recipiente em aço estampado, cilíndrico, munido de asa lateral de material isolante térmico e bico vertedor. Capacidade de meio litro;
 - m) termômetro de vidro com proteção ou termômetro de haste metálica com mostrador circular, graduado em 2 °C, de (10 a 200) °C, para medir temperaturas de agregado, betume e mistura betuminosa;
 - n) termômetro graduado em 0,5 °C, de (20-70) °C, para medição em banho d'água ou ao ar;
 - o) espátula de aço, com ponta arredondada, com lâmina de 18 cm de comprimento e 3 cm de largura;
 - p) base de compactação de acordo com a Figura 2. Deve ser instalada em nível, perfeitamente estável, livre de vibração ou trepidação;
 - q) soquete de compactação, de aço, com 4 540 g de massa e uma altura de queda livre de 45,72 cm. A face de compactação no pé do soquete é plana e circular (Figura 3). São recomendados dois soquetes;
- Nota 1:** O soquete de compactação deve possuir um "protetor de dedo".
- r) medidor de fluência, com graduações de 0,25 mm (Figura 4);
 - s) paquímetro com exatidão de 0,1 mm;
 - t) banho d'água, com capacidade para 9 (nove) corpos-de-prova, provido de uma prateleira plana e perfurada, 50 mm acima do fundo, para permitir a circulação de água por baixo dos corpos-de-prova. O nível d'água deve ficar, no mínimo, 3 cm acima dos corpos-de-prova; o aquecimento deve ser, preferivelmente, elétrico, com controle automático de temperatura, para $(60 \pm 1) ^\circ\text{C}$ e para $(38 \pm 1) ^\circ\text{C}$;
 - u) molde de compressão de aço (Figura 4);
 - v) luva de amianto, mão esquerda, com cinco dedos, com proteção de couro na face externa da palma e dos dedos;
 - x) relógio de alarme para intervalos de tempo até 60 minutos, com resolução de 1 minuto;
 - y) parafina, pincel e papel de filtro de diâmetro de 101,6 mm;
 - z) pinça de aço inoxidável ou de alumínio, para colocar e retirar os corpos-de-prova do banho d'água.

DNER-ME 043/95

p.04/11

5 PREPARAÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA

5.1 Temperaturas de mistura e de compactação

5.1.1 A temperatura que o ligante deve ser aquecido, para ser misturado aos agregados, é aquela na qual apresenta uma viscosidade de (170 ± 20) cSt ou (85 ± 10) sSF para o cimento asfáltico ou a viscosidade específica Engler de 25 ± 3 para alcatrão.

5.1.2 A temperatura de compactação da mistura é aquela na qual o ligante apresenta uma viscosidade de (280 ± 30) cSt ou (140 ± 15) sSF para o cimento asfáltico, ou a viscosidade específica Engler de 40 ± 5 para o alcatrão.

5.2 Preparação das misturas

5.2.1 Preparar no mínimo três corpos-de-prova para cada dosagem de mistura betuminosa. Conhecidas as porcentagens, em massa, em que os agregados e o ligante betuminoso serão misturados, calcula-se a quantidade de cada um deles capaz de produzir um corpo-de-prova.

5.2.2 Secar os agregados até massa constante em estufa a $(105 \text{ a } 110)^\circ\text{C}$ e separá-los nas seguintes frações:

I - 25 a 19 mm

II - 19 a 9,5 mm

III - 9,5 a 4,8 mm

IV - 4,8 a 2,0 mm

V - Passando na peneira de 2,0 mm

5.2.3 Pesar os agregados para um corpo-de-prova, de cada vez, em recipientes separados, nas quantidades de cada fração obtida no item 5.2.2, que após mistura com o ligante produza corpo-de-prova com cerca de 1200 g e $(63,5 \pm 1,3)$ mm de altura.

5.2.4 O mesmo procedimento é aplicado para os outros corpos-de-prova.

5.2.5 A seguir, colocar os recipientes em placa quente ou em estufa e aquecer à temperatura de aproximadamente 10°C a 15°C acima da temperatura de aquecimento do ligante estabelecida de acordo com o item 5.1.1, não devendo ultrapassar a temperatura de 177°C .

5.2.6 Misturar os agregados de cada recipiente, e em cada um deles abrir uma cratera para receber o ligante que deve ser aí pesado. Neste momento a temperatura dos agregados e do material betuminoso em cada recipiente deve estar dentro dos limites estabelecidos nos itens 5.1.1 e 5.2.5.

5.2.7 Efetuar a mistura rapidamente, de 2 a 3 minutos, até completa cobertura dos agregados, preferencialmente através de mistura mecânica, para ser colocada no molde de compactação.

DNER-ME 043/95

p.05/11

Nota 2: Aquecer somente a quantidade de ligante necessária para um corpo-de-prova, e no máximo por 1 (uma) hora, evitando a aplicação muito intensa de calor. O recipiente contendo o ligante deve permanecer coberto durante o aquecimento.

5.3 Compactação de corpos-de-prova

5.3.1 O molde de compactação e a base do soquete devem estar limpos e aquecidos em água fervente, em estufa ou placa a (90 a 150) °C. Colocar o molde em posição no suporte de compactação (bloco de madeira) e introduzir nele uma folha de papel-filtro, cortado conforme a seção do molde. Colocar no molde a mistura, de uma só vez (2 min). Acomodar a mistura quente com 15 (quinze) golpes vigorosos de espátula no interior e ao redor do molde e 10 (dez) no centro da massa; remover o anel superior e alisar a mistura com uma colher ligeiramente aquecida.

Nota 3: A temperatura da mistura, imediatamente antes da compactação, deve estar nos limites fixados no item 5.1.2. A mistura deve ser recusada e a operação repetida se estiver fora desses limites de temperatura. Não se admite reaquecimento da mistura.

5.3.2 Recolocar o anel superior e aplicar com o soquete (Figura 4) determinado número de golpes sobre a mistura, com altura de queda livre de 45,72 cm. Remover o anel superior e inverter o anel inferior e forçar com o soquete a mistura até atingir a placa-base e aplicar o mesmo número de golpes no corpo-de-prova invertido.

Nota 4: O número de golpes deve ser de 75 (setenta e cinco) de cada lado do corpo-de-prova, o que deve constar do relatório de ensaio.

5.3.3 Após a compactação (item 5.3.2), o corpo-de-prova é retirado do anel inferior e cuidadosamente colocado numa superfície lisa e plana e deixado em repouso durante, no mínimo 12 h, à temperatura ambiente. Devem ser tomados cuidados no manuseio do corpo-de-prova para evitar fratura ou deformação. A altura do corpo-de-prova deve ser de $(63,5 \pm 1,3)$ mm, medida com o paquímetro em quatro posições diametralmente opostas. Adota-se como altura o valor da média aritmética das quatro leituras.

Nota 5: O resfriamento do corpo-de-prova, por água, desde que não haja contato direto com a água, pode ser utilizado quando houver necessidade de resultados imediatos.

6 DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE E DA FLUÊNCIA

6.1 Os corpos-de-prova serão imersos em banho-maria a (60 ± 1) °C, para misturas com cimento asfáltico ou a (38 ± 1) °C, para misturas com alcatrão, por um período de 30 a 40 minutos. Como alternativa, podem ser colocados em estufa nas mesmas temperaturas pelo período de 2 (duas) horas.

6.2 Em seguida, cada corpo-de-prova é colocado no molde de compressão (Figura 4), que deve estar nas temperaturas de $(21 \text{ a } 38)$ °C, convenientemente limpo, e com os pinos-guias lubrificados.

6.3 O molde de compressão, contendo o corpo-de-prova, é posicionado na prensa segundo a geratriz e o medidor de fluência é colocado e ajustado na posição de ensaio.

6.4 A prensa é operada de tal modo que seu êmbolo se eleve a uma velocidade de 5 cm por minuto, até o rompimento do corpo-de-prova, o que é observado no defletômetro pela indicação de um máximo. A leitura deste máximo será anotada e convertida em N (kgf), pelo gráfico de calibração do anel dinamométrico.

DNER-ME 043/95

p.07/11

ANEXO NORMATIVO

TABELA - CORREÇÃO DA ESTABILIDADE, EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DO CORPO-DE-PROVA

ESPESSURA (mm)	FATOR	ESPESSURA (cm)	FATOR	ESPESSURA (cm)	FATOR
50,8	1,47	56,3	1,22	64,3	0,98
51,0	1,45	56,6	1,21	64,7	0,97
51,2	1,44	56,8	1,20	65,1	0,96
51,6	1,43	57,12	1,19	65,6	0,95
51,8	1,42	57,4	1,18	66,1	0,94
52,0	1,41	57,7	1,17	66,7	0,93
52,2	1,40	58,1	1,16	67,1	0,92
52,4	1,39	58,4	1,15	67,5	0,91
52,6	1,38	58,7	1,14	67,9	0,90
52,9	1,37	59,0	1,13	68,3	0,89
53,1	1,36	59,3	1,12	68,8	0,88
53,3	1,35	59,7	1,11	69,3	0,87
53,5	1,34	60,0	1,10	69,9	0,86
53,8	1,33	60,3	1,09	70,3	0,85
54,0	1,32	60,6	1,08	70,8	0,84
54,2	1,31	60,9	1,07	71,4	0,83
54,5	1,30	61,1	1,06	72,2	0,82
54,7	1,29	61,4	1,05	73,0	0,81
54,9	1,28	61,9	1,04	73,5	0,80
55,1	1,27	62,3	1,03	74,0	0,79
55,4	1,26	62,7	1,02	74,6	0,78
55,6	1,25	63,1	1,01	75,4	0,77
55,8	1,24	63,5	1,00	76,2	0,76
56,1	1,23	63,9	0,99		

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Figura 1

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

DNER - ME 043/95
p. 08/11

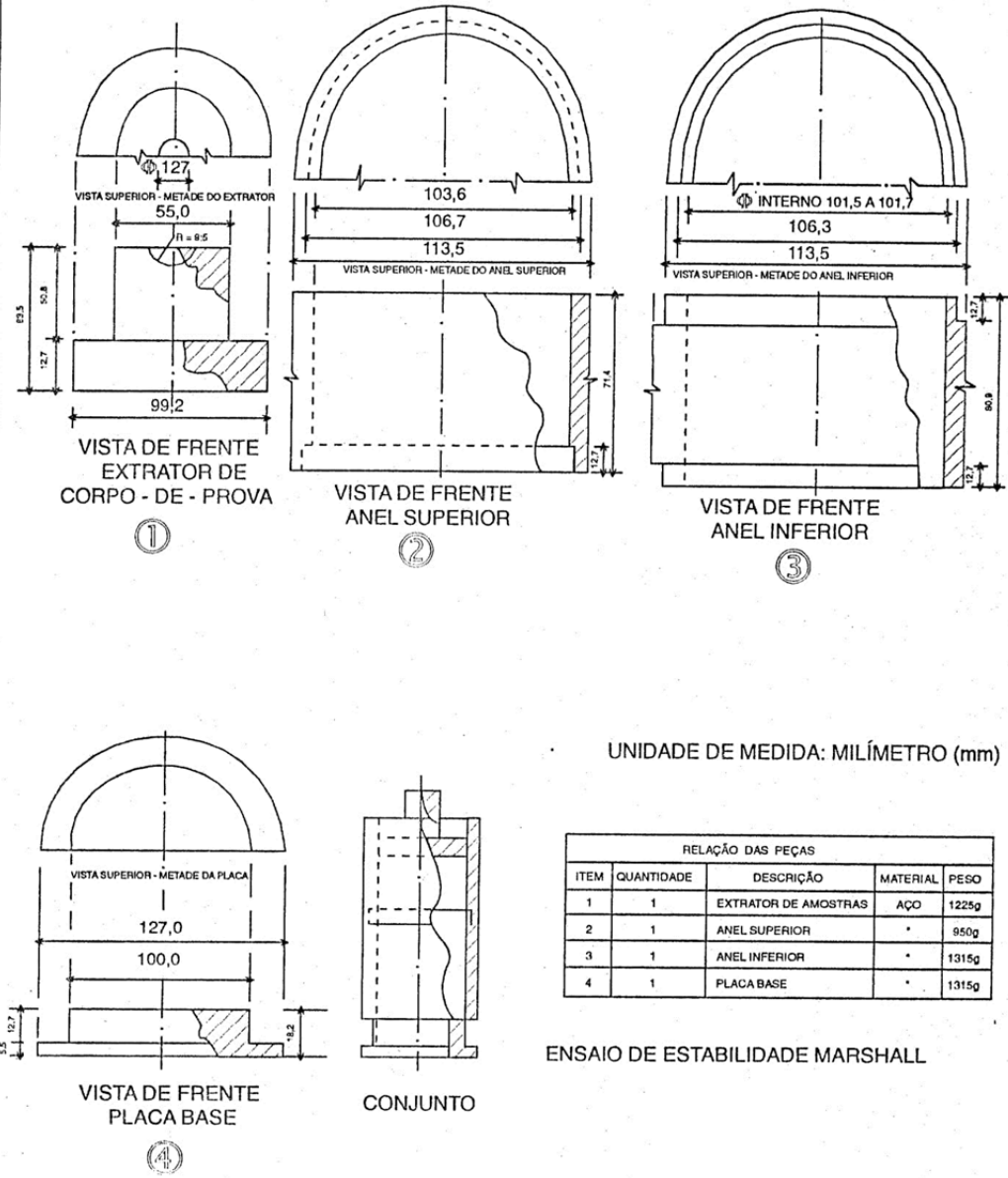


Figura 1 - MOLDE DE COMPACTAÇÃO E EXTRATOR DE CORPOS - DE - PROVA

Figura 2

DNER - ME 043/95
p. 9/11

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

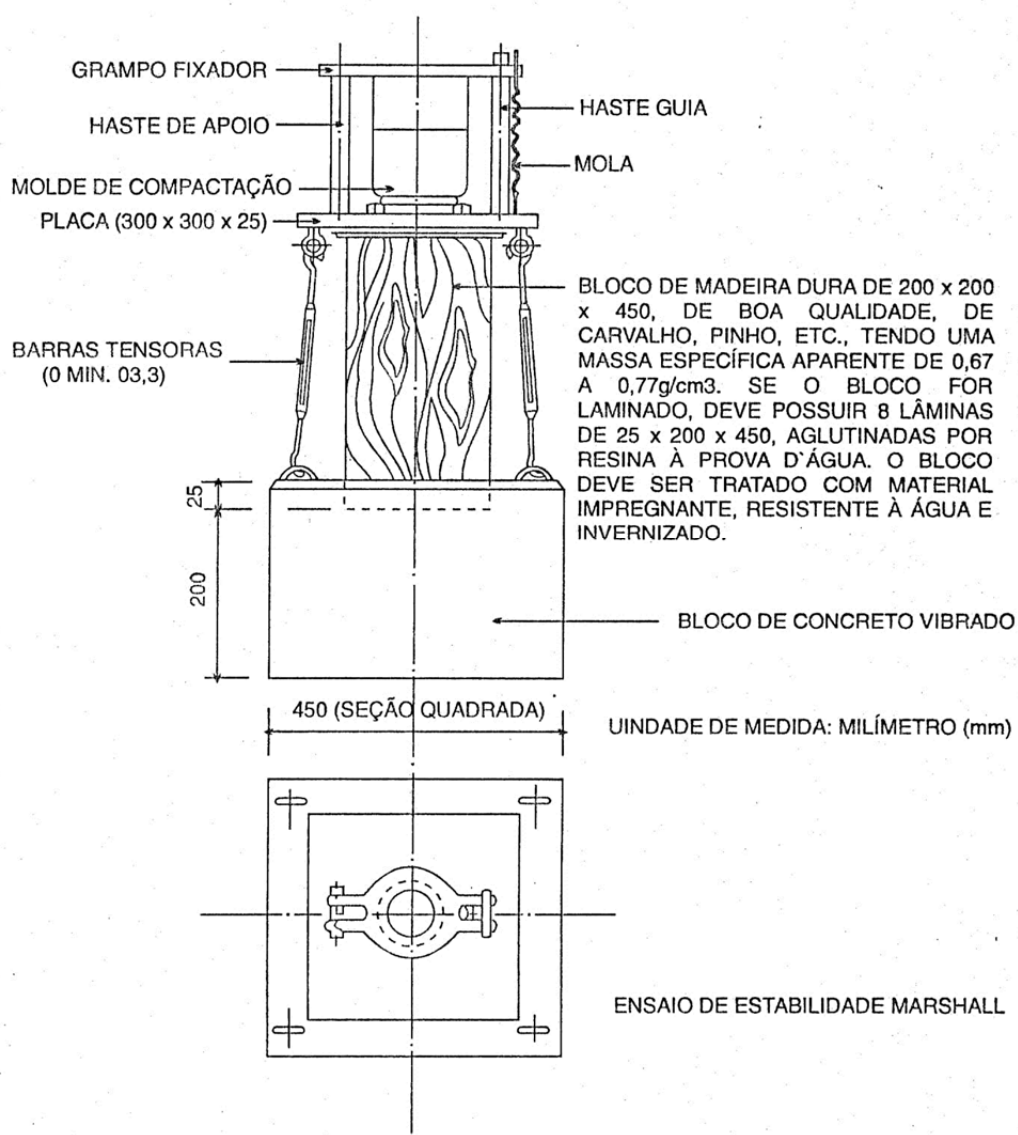


Figura 2 - BASE DE COMPACTAÇÃO

Figura 3

