Campus de São Carlos

*INFLUÊNCIAS DA PERDA DE UMIDADE ANTES DA COMPACTAÇÃO EM
MISTURAS DE AREIA-ASFALTO A FRIO FEITAS COM EMULSÃO
ASFÁLTICA CATIONICA DE RUPTURA LENTA*

CARLOS ALBERTO PRADO DA SILVA JÚNIOR

ORIENTADOR: PROF. DR. MANOEL HENRIQUE ALBA SÓRIA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 26/07/00

Ass.: _____

**INFLUÊNCIAS DA PERDA DE UMIDADE ANTES DA COMPACTAÇÃO
EM MISTURAS DE AREIA-ASFALTO A FRIO FEITAS COM EMULSÃO
ASFÁLTICA CATIÔNICA DE RUPTURA LENTA**

CARLOS ALBERTO PRADO DA SILVA JÚNIOR

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, Área de Transportes.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

São Carlos
2000

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016484

Class.	TESE - EESC
Qui.	5552
Tombo	T0173/00

12 : 1099403

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S586i Silva Júnior, Carlos Alberto Prado da
Influências da perda de umidade antes da
compactação em misturas de areia-asfalto a frio feitas
com emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta /
Carlos Alberto Prado da Silva Júnior. -- São Carlos,
2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.
Área: Transportes.
Orientador: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória.

1. Areia-asfalto. 2. Areia-asfalto a frio.
3. Misturas a frio. 4. Emulsões asfálticas.
5. Cura antes da compactação. I. Título.

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais Carlos Alberto Prado da Silva
e Maria Odelita Costa da Silva por estarem
presentes e tornarem perfeitas todas as
minhas conquistas.*

AGRADECIMENTOS

À Deus por iluminar todos os momentos da minha vida;

Ao Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória pela orientação e liberdade de trabalho que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional;

Ao Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, por ter possibilitado a elaboração desta dissertação;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de estudos concedida;

Ao Prof. Dr. Glauco Tulio Pessa Fabbri pelas contribuições e apoio durante todo o desenvolvimento deste trabalho;

Aos técnicos do laboratório de Estradas do Departamento de Transportes da EESC/USP Antônio Carlos Gigante, Roberto Morasco e Antônio Carlos Oliveira pela assistência ao ensaios realizados neste trabalho;

Ao Porto de Areia São Carlos Ltda. e ao Sr. Rubens Coelho pela doação do material usado como agregado e informações prestadas;

À Ipiranga Asfaltos S/A pela doação da emulsão asfáltica utilizada neste trabalho;

À Heliana Barbosa Fontenele pela compreensão, apoio e carinho desde a graduação;

Ao meu irmão Cristiano Ricardo Costa da Silva e sobrinho Clóvis Mateus Lima da Silva pelo incentivo;

À Maria Helena Costa Teixeira de Lima pelas informações e incentivo à realização do curso de mestrado;

À Graci Gomes da Silva e Alaury Bertini pelo apoio na minha chegada a São Paulo;

Aos professores Benedito Coutinho Neto, Paulo Márcio da Silva Aranha, Júlio Mascarenhas e Ana Rosa Mendonça Ferreira de Sousa pelo apoio e incentivo;

Ao Eng. Claudio Taira pelas orientações sobre o uso de equipamentos de ensaios;

À Heloísa Helena Morgado Belo, Ana Angélica Marques e Antônio Carlos Mariano pelo auxílio e suporte técnico;

A todos os colegas e professores do Departamento de Transportes da EESC/USP pela amizade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
RESUMO	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	01
1.1. As misturas de areia-asfalto	02
1.2. Organização do trabalho	03
2. MISTURAS DE AREIA-ASFALTO A FRIO	04
2.1. Areia-asfalto com asfaltos diluídos	04
2.2. Areia-asfalto com emulsões asfálticas	07
2.3. Misturas com emulsão asfáltica	12
2.3.1. Projeto das Misturas	12
2.3.2. Aplicações no Campo	14
3. ALGUMAS PARTICULARIDADES DAS MISTURAS DE EMULSÃO ASFÁLTICA-AGREGADO	16
3.1. Cura antes da compactação	17
3.2. Cura após a compactação	19
3.3. Água de molhagem dos agregados	21
4. EMULSÕES ASFÁLTICAS	23
4.1. Considerações iniciais	23
4.2. Tipos de emulsões asfálticas	24
4.3. Classificação das emulsões asfálticas	25
4.4. Resumo histórico do uso das emulsões asfálticas	25
4.5. Problemas econômicos e ambientais	27
4.6. Vantagens e desvantagens das emulsões asfálticas	28
4.7. O mecanismo de ruptura nas emulsões asfálticas	29
5. MÉTODOS DE DOSAGEM DE MISTURAS A FRIO COM EMULSÃO ASFÁLTICA	32
6. ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA	36

6.1. Ensaio de fluência por compressão uniaxial estática	37
7. MATERIAIS USADOS	41
7.1. Agregado	41
7.1.1. Distribuição granulométrica da areia	41
7.1.2. Peso específico, grau de arredondamento e esfericidade	42
7.1.3. Faixa granulométrica da areia	42
7.2. <i>Filler</i> de cimento <i>Portland</i> e <i>filler</i> de pedregulho britado	43
7.3. Emulsão asfáltica	44
7.3.1. Procedência	44
7.3.2. Escolha da emulsão asfáltica tipo RL-1C	44
8. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	47
8.1. PLANEJAMENTO DA PESQUISA EXPERIMENTAL	47
8.1.1. Dosagem das misturas	47
8.1.2. Ensaio de caracterização das misturas em função da perda de umidade	48
8.1.3. Ensaio de fluência por compressão uniaxial estática	48
8.2. Preparo e manuseio dos materiais utilizados	50
8.2.1. Materiais granulares	50
8.2.2. Emulsão asfáltica	50
8.2.3. Preparo das misturas	50
8.3. Ensaio de controle da perda de umidade das misturas	51
8.4. Dosagens das misturas	52
8.4.1. Dosagem <i>Marshall</i> pelo método do DNER/ME 107/94	52
8.4.2. Dosagens modificadas	55
8.5. Ensaio <i>Marshall</i> no teor ótimo de asfalto residual para cada mistura e variação da perda de umidade das misturas para a compactação	57
8.6. Ensaio de fluência por compressão uniaxial estática no teor ótimo de asfalto residual e percentual ótimo de umidade perdida para a compactação das misturas	58
9. RESULTADOS OBTIDOS	60
9.1. Ensaio de resíduo asfáltico das emulsões	60
9.2. Ensaio de controle da perda de umidade das misturas	61
9.2.1. Resultado das misturas sem <i>filler</i>	61
9.2.2. Misturas com <i>filler</i> britado	62
9.2.3. Misturas com <i>filler</i> de cimento	62
9.3. Dosagens <i>Marshall</i> das misturas	65

9.3.1. Dosagem <i>Marshall</i> normalizada (DNER-ME 107/94)	65
9.3.2. Dosagens modificadas	67
a) Resultados das misturas sem <i>filler</i>	67
b) Resultados das misturas com <i>filler</i> britado	69
c) Resultados das misturas com <i>filler</i> de cimento	71
9.4. Ensaio <i>Marshall</i> no teor ótimo de asfalto residual para cada mistura e variação na perda de umidade das misturas	71
9.4.1. Resultados das misturas sem <i>filler</i>	71
9.4.2. Resultados das misturas com <i>filler</i> britado	73
9.4.3. Resultados das misturas com <i>filler</i> de cimento	74
9.5. Ensaio de fluência por compressão uniaxial estática	75
9.5.1. Resultados do ensaio para misturas sem <i>filler</i>	77
9.5.2. Resultados do ensaio para misturas com <i>filler</i> britado	79
9.5.3. Resultados do ensaio para misturas com <i>filler</i> de cimento	80
9.5.4. Comentários sobre os ensaios de fluência por compressão uniaxial estática ...	82
10. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	85
10.1. Ensaio de controle da perda de umidade das misturas	85
10.2. Ensaio de dosagem <i>Marshall</i>	86
10.2.1. Dosagem normalizada	86
10.2.2. Dosagens modificadas	86
10.3. Ensaio <i>Marshall</i> no teor ótimo de asfalto residual para cada mistura e variação na perda de umidade das misturas	87
10.4. Ensaio de fluência por compressão uniaxial estática	88
10.5. Sugestões	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	93
ANEXOS	96
ANEXO I – Resultados das dosagens <i>Marshall</i> normalizada e modificada	
ANEXO II – Resultados dos ensaios de fluência por compressão uniaxial estática	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Faixa granulométrica A apresentada por TAVARES NETO (1976)	08
FIGURA 2.2 – Faixa granulométrica B apresentada por TAVARES NETO (1976)	09
FIGURA 2.3 – Faixa granulométrica C apresentada por TAVARES NETO (1976)	09
FIGURA 2.4 – Faixa granulométrica de acordo com NCHRP (1977)	11
FIGURA 4.1 – Esquema para produção de emulsão asfáltica	24
FIGURA 7.1 – Faixa apresentada pelo NCHRP	43
FIGURA 8.1 – Esquema do procedimento experimental	49
FIGURA 9.1 – Perda de umidade das misturas sem <i>filler</i>	61
FIGURA 9.2 – Perda de umidade das misturas com <i>filler</i> britado	62
FIGURA 9.3 – Perda de umidade das misturas com <i>filler</i> de cimento	63
FIGURA 9.4 – Comparativo da perda de umidade das misturas ensaiadas	64
FIGURA 9.5 – Resultados da dosagem <i>Marshall</i> normalizada	66
FIGURA 9.6 – Resultados da dosagem Modificada das misturas sem <i>filler</i>	68
FIGURA 9.7 – Resultados da dosagem Modificada das misturas de <i>filler</i> britado	70
FIGURA 9.8 – Resultados da dosagem Modificada das misturas de <i>filler</i> de cimento	72
FIGURA 9.9 – Ensaio <i>Marshall</i> no teor ótimo de asfalto residual e variação da umidade perdida	76
FIGURA 9.10 – Deformações axiais das misturas sem <i>filler</i>	78
FIGURA 9.11 – Média das deformações axiais das misturas sem <i>filler</i>	78
FIGURA 9.12 – Deformações axiais das misturas com <i>filler</i> britado	79
FIGURA 9.13 – Média das deformações axiais das misturas com <i>filler</i> britado	80
FIGURA 9.14 – Deformações axiais das misturas com <i>filler</i> de cimento	81
FIGURA 9.15 – Média das deformações axiais das misturas com <i>filler</i> de cimento	82
FIGURA 9.16 – Misturas com <i>filler</i> de cimento, saltos nas leituras	83
FIGURA 9.17 – Misturas sem <i>filler</i> que romperam durante o ensaio	83
FIGURA 9.18 – Mistura com <i>filler</i> britado que rompeu durante o ensaio	84
FIGURA 9.19 – Mistura com <i>filler</i> de cimento que rompeu durante o ensaio	84

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – Faixas granulométrica apresentadas por TAVARES NETO (1976)	08
TABELA 2.2 – Faixa granulométrica para misturas de areia-emulsão	10
TABELA 4.1 – Serviços rodoviários e o emprego da emulsões asfálticas	25
TABELA 5.1 – Diferenças entre os métodos de dosagem do DNER e o método proposto por J. Lopes e F. Kasuga	33
TABELA 7.1 – Distribuição granulométrica da areia do rio Mogi Guaçu	41
TABELA 7.2 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado	42
TABELA 7.3 – Percentagem de cimento <i>Portland</i> passando nas peneiras recomendadas pela EM 367/97	44
TABELA 7.4 – Especificações de emulsões asfálticas catiônicas	45
TABELA 8.1 – Misturas, número de amostras e suas respectivas percentagens de asfalto residual	51
TABELA 8.2 – Valores das massas de emulsão asfáltica em função das massas de asfalto residual e do resíduo asfáltico da emulsão	54
TABELA 8.3 – Água de molhagem, água da emulsão asfáltica e água total para misturas sem <i>filler</i>	55
TABELA 8.4 – T _{ca} , T'ca, P _{ca} e P'ca e a faixa de teores de cada mistura	56
TABELA 8.5 – Características das misturas usadas no ensaio de fluência por compressão uniaxial estática	58
TABELA 9.1 – Resultados dos ensaios de resíduo asfáltico	60
TABELA 9.2 – Resultados da dosagem normalizada pelo DNER	65
TABELA 9.3 – Resultados da dosagem modificada das misturas sem <i>filler</i>	67
TABELA 9.4 – Resultados da dosagem modificada das misturas com <i>filler</i> britado	69
TABELA 9.5 – Resultados da dosagem modificada das misturas com <i>filler</i> de cimento	71
TABELA 9.6 – Ensaio <i>Marshall</i> das misturas sem <i>filler</i> no teor ótimo de asfalto residual e variação da perda de umidade	73
TABELA 9.7 – Ensaio <i>Marshall</i> das misturas com <i>filler</i> britado no teor ótimo de asfalto residual e variação da perda de umidade	73
TABELA 9.8 – Ensaio <i>Marshall</i> das misturas com <i>filler</i> de cimento no teor ótimo de asfalto residual e variação da perda de umidade	74
TABELA 9.9 – Testes dos níveis de tensões para as misturas estudadas	77

TABELA 9.10 – Tensão de ensaio para cada tipo de mistura	77
TABELA 9.11 – Média dos parâmetros obtidos para as misturas sem <i>filler</i> no ensaio de fluência	79
TABELA 9.12 – Média dos parâmetros obtidos para as misturas com <i>filler</i> britado no ensaio de fluência	80
TABELA 9.13 – Média dos parâmetros obtidos para as misturas com <i>filler</i> de cimento no ensaio de fluência	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AASHO – *American Association of State Highway Officials*

ASTM – *American Society of Testing Materials*

CAP – Cimento asfáltico de petróleo

CP SF – Corpo de prova de misturas sem *filler*

CP FB – Corpo de prova de misturas com *filler* britado

CP FC – Corpo de prova de misturas com *filler* de cimento

CR – Cura rápida

CM – Cura média

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

FHWA – *Federal Highway Administration*

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo

LA-1C e LA-2C – Emulsão asfáltica catiônica para lama asfáltica

Mpa – MegaPascal

NCHRP – *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM*

PMF – Pré-misturado a frio

RC-2 – Tipo de asfalto recortado

RL -1C – Emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta

RR-1C e RR-2C – Emulsão asfáltica de ruptura rápida

RM-1C e RM-2C – Emulsão asfáltica de ruptura média

RT-3 – Alcatrão de retorta vertical

SSF – Viscosidade *Saybolt Furol*,

RESUMO

O preparo de misturas de areia-asfalto a frio com emulsão asfáltica possui algumas características que dificultam a avaliação de seu desempenho através de ensaios de laboratório. Estas características são atribuídas à emulsão asfáltica que necessita de cuidados adicionais em relação a outros tipos de ligantes betuminosos. Um desses cuidados é o procedimento de cura antes da compactação para favorecer a perda de umidade das misturas. Neste trabalho é avaliada a influência da perda de umidade de três tipos de misturas de areia-asfalto a frio – misturas sem *filler*, com *filler* de pedregulho britado e com *filler* de cimento *Portland*, sobre os resultados de alguns ensaios de laboratório. Os ensaios usados para esta avaliação foram: dosagens sem cura e com cura antes da compactação das misturas; controle da perda de umidade; ensaios *Marshall* com variação da perda de umidade e fluência por compressão uniaxial estática. A perda de umidade antes da compactação das misturas mostrou-se um importante fator de influência nos resultados do ensaio *Marshall*. Porém, o ensaio de fluência por compressão uniaxial estática revelou que mesmo as misturas com melhor desempenho no ensaio *Marshall* são muito suscetíveis à deformação permanente e com ruptura frágil mesmo sob a ação de tensões axiais relativamente baixas.

Palavras chaves: Areia-asfalto; areia-asfalto a frio; misturas a frio; emulsões asfálticas; cura antes da compactação.

ABSTRACT

The preparation of cold sand-asphalt mixtures with asphalt emulsion has some characteristics that can affect the laboratory evaluation of its performance. These characteristics are attributed to asphaltic emulsion that needs additional cares in relation to others types of bituminous binders. One of these cares is the curing procedure before compaction, to favor moisture loss. In this work the influence of moisture loss on the results of some laboratory tests is evaluated for three cold sand-asphalt mixtures - mixtures without filler, with crushed gravel filler and with portland cement filler. The tests used for this evaluation are: optimum asphalt content with and without curing before the mixtures compaction, moisture loss control, Marshall tests with moisture loss variation and static creep test. Moisture loss before compaction showed to have a clear influence on the results of Marshall tests. However the static creep test revealed that even those mixtures with the best Marshall test performances are very susceptible to permanent deformation and fragile rupture under low axial stress.

Keywords: Sand-asphalt; cold sand-asphalt; cold mixtures; asphaltic emulsions; curing before the compaction.

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em várias regiões do Brasil as misturas de areia-asfalto são uma solução econômica e, em muitos casos, uma alternativa única, quando se depara com a indisponibilidade de agregados pétreos adequados às misturas asfálticas comumente empregadas nos pavimentos rodoviários. O uso de agregados disponíveis nas proximidades dos trabalhos de pavimentação seria conveniente por questões econômicas, evitando elevação de custos com a importação de materiais de locais distantes.

Os revestimentos de areia-asfalto a frio, quando começaram a ser empregados em pavimentação, eram executados com asfaltos diluídos, os chamados asfaltos recortados. A utilização de asfaltos recortados como ligante nessas misturas trazia alguns inconvenientes, principalmente com relação à evaporação do solvente contido no ligante e à umidade que poderia estar presente no agregado.

Com o advento das emulsões asfálticas surgiu, potencialmente, uma nova alternativa para os revestimentos de areia-asfalto a frio. As emulsões asfálticas apresentavam algumas vantagens sobre os asfaltos diluídos, entre elas: menor teor de solvente (em alguns casos esse teor é nulo); a possibilidade de serem usados agregados umedecidos, dispensando o uso de secador; eliminavam problemas de incêndio e explosões, etc. Porém, o uso das emulsões como ligantes asfálticos também traz algumas dificuldades, decorrentes do processo de perda da água que compõe a emulsão.

No Brasil os revestimentos de areia-asfalto a frio são executados em algumas regiões, mas eles são vistos como problemáticos em termos de desempenho. São empregados em vias de tráfego leve, onde os recursos disponíveis são escassos.

1.1. AS MISTURAS DE AREIA-ASFALTO

As argamassas asfálticas, que são uma mistura de areia, ligante asfáltico e eventualmente *filler* – no caso mais geral, compreendem algumas misturas betuminosas, entre estas o *sheet-asphalt* e a areia-asfalto. O termo *sheet-asphalt* (lençol asfáltico) é largamente conhecido no meio rodoviário e claramente diferenciado das misturas de areia-asfalto. A diferença está em função de ser o *sheet-asphalt* fabricado apenas em centrais a quente, utilizado somente em camadas de revestimento, ser uma mistura densa, adotar regras de distribuição granulométricas mais precisas, ter sua fabricação e controle de execução muito mais rigorosos e exigir resistências mecânicas mínimas mais elevadas (MELLO, 1963).

Já as misturas de areia-asfalto são comumente fabricadas com areia, ligante betuminoso e, em alguns casos, *filler*, podendo ser executadas em centrais a quente, a frio ou ainda na estrada, quando recebem o nome de *road-mix* de areia-asfalto, sendo que neste caso são executadas somente a frio.

As misturas de areia-asfalto possuem várias denominações conforme a língua e algumas características peculiares do local onde é utilizada. Sendo assim, *sand-asphalt* é a denominação americana para areia-asfalto, *sable enrobé* a denominação francesa e *sand-mix* é a denominação inglesa para esse tipo de mistura. Na Inglaterra, pode-se diferenciar dois tipos dessa mistura: *Dry-sand mix* (areia asfalto a frio seca) quando a areia a ser utilizada está seca e *wet-sand mix* (areia asfalto a frio úmida) quando a areia a ser utilizada apresenta certo teor de umidade.

Na pesquisa aqui relatada foram estudadas misturas de areia-asfalto a frio feitas com emulsões asfálticas catiônicas do tipo RL-1C.

Os objetivos deste trabalho são:

- Avaliar em laboratório o comportamento das misturas com relação à utilização de *filler* e quais influências que esse material poderia trazer à perda de umidade das misturas;
- Testar a influência do procedimento de cura antes da compactação dos corpos de prova na dosagem *Marshall* para misturas a frio;
- Avaliar a influência da perda de umidade nas misturas de areia-asfalto a frio em relação aos parâmetros do ensaio *Marshall*;
- Utilizar o ensaio de fluência por compressão uniaxial estática para avaliar o comportamento das misturas quanto aos mecanismos das deformações na fluência por compressão uniaxial.

1.2. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este relato da pesquisa encontra-se dividido em 11 capítulos distribuídos da seguinte forma: do capítulo 1 ao 6 é apresentada uma explanação sobre as diversas características das misturas de areia-asfalto, os materiais que são empregados na sua fabricação, os métodos de dosagem e ensaios de avaliação. No capítulo 7 é apresentado o planejamento da pesquisa experimental, seguido dos materiais que foram usados, que são abordados no capítulo 8.

No capítulo 9 o procedimento experimental desenvolvido é detalhado e no capítulo 10 são apresentados os resultados obtidos. Encerra-se com o capítulo 11 onde as conclusões finais sobre o trabalho e algumas sugestões com relação às misturas estudadas nesta pesquisa são apresentadas.

CAPÍTULO 2

MISTURAS DE AREIA-ASFALTO A FRIO

O uso pioneiro do asfalto na construção de pavimentos data de 1802 na França, 1838 nos Estados Unidos (Filadélfia) e 1869 na Inglaterra. Os asfaltos eram naturais, ou seja, provenientes dos chamados lagos de asfaltos (IBP, 1994). Os primeiros produtos usados como emulsões eram “óleos chamados emulsionados e tinham forte cheiro de pinho e aspecto pegajoso”, segundo o *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* (1977).

2.1. AREIA-ASFALTO COM ASFALTOS DILUÍDOS

A partir de 1952 foram feitas algumas experiências na França, conforme MELLO (1963), com misturas de areia-asfalto a frio, usadas como revestimentos e executadas com asfalto diluído. Os resultados só deixaram a desejar com relação ao desgaste superficial.

A utilização de misturas de areia-asfalto a frio no Brasil data da década de 60, sendo muito difundidas no Norte, Nordeste e em outras áreas do país onde há carência de agregados rochosos para pavimentação. Estas misturas eram realizadas com asfaltos diluídos (principalmente CR-2).

O solvente presente nestes asfaltos cria certos inconvenientes às misturas de areia-asfalto a frio, pois, dependendo da distribuição granulométrica do agregado há dificuldade na sua evaporação. Além disso os agregados não podem ter um teor de

umidade superior a 2%, sob pena de comprometer o desempenho das misturas. Sempre houve, na construção rodoviária, o interesse de se utilizar agregados molhados na preparação de misturas asfálticas, pois isto resultaria em economia de tempo e recursos.

Em artigo sob o título “Areia-asfalto por processo molhado” VIEIRA (1960) afirma que este tipo de mistura era muito difundida na Europa em locais onde não existiam agregados rochosos e que ao terem sido usados em pavimentos submetidos a tráfego pesado apresentaram comportamento satisfatório.

Este tipo de revestimento asfáltico por processo molhado consiste na utilização do agregado (areia) com um certo teor de umidade. A aplicação destas misturas foi relativamente difundida e durante a II Guerra Mundial vários aeroportos tiveram seus pavimentos construídos com areia-asfalto pelo processo molhado. No Brasil este tipo de mistura, até a década de 60, ainda não possuía especificações que fizessem referência ao seu emprego.

Uma aplicação típica de misturas de areia-asfalto por processo molhado é relatada por VIEIRA (1960), que estudou uma mistura composta de areia de rio, água, cal extinta, agente umectante tipo RT-3 (alcatrão de retorta vertical) e asfalto diluído de cura rápida. Este estudo serviu de base à construção do revestimento de um trecho experimental na rodovia BR-16/31, no estado do Mato Grosso.

O trecho experimental executado por VIEIRA (1960) era composto de base e sub-base estabilizadas mecanicamente e o revestimento de areia-asfalto por processo molhado. Vale ressaltar que ao estudar a estabilidade da mistura, este autor concluiu que existia um teor de água inicial ótimo à compactação, que iria assegurar uma estabilidade máxima da areia-asfalto por processo molhado, além de que o processo de endurecimento da mistura era acelerado pela presença da água contida no agregado.

Em muitas ocasiões os revestimento de areia-asfalto a frio são executados por limitação de recursos financeiros e poucas condições de controle da construção. SANTANA (1960), ao relatar um insucesso com relação à pavimentação de uma parte do pátio de estacionamento e manobras na base aérea de Fortaleza, ressalta que “a construção da área de areia-asfalto foi feita por falta de dinheiro para um melhor tipo”.

Ainda segundo esse autor o pavimento deteriorou-se, durante o período de chuva, trazendo uma série de problemas para o pátio. Ao avaliar todo o processo construtivo tirou as seguintes conclusões com relação ao revestimento: o aparecimento de fissuras poderia ser proveniente da compactação com pouca cura; a alta percentagem de vazios aliada à drenagem deficiente teria provocado o encharcamento da base.

Em regiões como no Nordeste do Brasil, a utilização de misturas de areia-asfalto a frio com asfalto diluído era muito extensa. SANTANA (1960) afirma que mais de 70% dos revestimentos executados no estado do Ceará eram de areia-asfalto a frio. Observações feitas nesses revestimentos conduziram às seguintes conclusões: problemas de durabilidade relacionados ao teor de ligante; a adesividade da areia era problemática; a estabilidade seria um problema secundário e a cura das misturas teria grande influência na vida do pavimento.

Outro fator a ser considerado quanto à utilização das misturas de areia-asfalto é a importação de agregados rochosos. Ao descrever a utilização dos revestimentos de areia-asfalto a frio no estado de Pernambuco, MELLO (1961) afirma que em alguns casos esse tipo de revestimento seria o mais adequado, pois havia regiões no estado onde o transporte de pedras tornar-se-ia anti-econômico. Esse tipo de revestimento tinha o seu emprego recente na região e as técnicas de estudo em laboratório e de execução no campo existentes naquela época apresentavam diferenças muito acentuadas. Além disso, demonstrou preocupação com os problemas de desgaste e de cura.

2.2. AREIA-ASFALTO COM EMULSÕES ASFÁLTICAS

Apesar das emulsões asfálticas estarem disponíveis desde 1903 e serem usadas em algumas construções desde 1930, foram fatores ligados a problemas energéticos e ambientais que fizeram com que organismos rodoviários e de proteção ambiental incentivassem o uso de emulsões asfálticas em substituição aos asfaltos diluídos.

Boa parte dos revestimentos e serviços de manutenção realizados em estradas até o final da década de 60 eram feitos com asfaltos diluídos. Segundo TAVARES NETO (1976) com o emprego das emulsões asfálticas esses serviços poderiam ser melhor executados, principalmente evitando os problemas de desgaste prematuro nos revestimentos.

Ao realizar um estudo com misturas de areia-asfalto a frio no estado da Bahia TAVARES NETO (1976) afirma que um dos maiores inconvenientes do uso dos asfaltos diluídos era o tempo requerido para eliminação do solvente contido no ligante e que esse processo estava relacionado principalmente às condições climáticas e à distribuição granulométrica do agregado.

Do estudo realizado por TAVARES NETO (1976) três faixas granulométricas foram apresentadas, conforme a Tabela 2.1, tendo as seguintes características: as areias que se enquadravam na faixa A (Figura 2.1) apresentaram **excelentes** características como camada de revestimento submetido a tráfego pesado; as areias que se enquadravam na faixa B (Figura 2.2) possuíam características **satisfatórias** quando empregadas também em revestimento submetidos ao tráfego pesado e as areias que se enquadravam na faixa C (Figura 2.3.) apresentavam características **aceitáveis** para revestimentos submetidos a tráfego leve ou para trabalhos de manutenção tipo “tapa-buraco”. No desenvolvimento do seu trabalho abordou as seguintes etapas: materiais (emulsão, areia e *filler*); misturas asfálticas (método *Hubbard-Field*) e a execução de um trecho experimental (6 km de extensão).

Tabela 2.1. Faixas granulométricas apresentadas por TAVARES NETO (1976).

PENEIRAS	FAIXA A		FAIXA B		FAIXA C	
	PERCENTAGEM PASSANDO					
	MÉDIA	LIMITES	MÉDIA	LIMITES	MÉDIA	LIMITES
1"	100	100	-	-	-	-
3/8"	90	80 – 100	-	-	-	-
Nº 4	80	65 – 95	100	100	100	100
Nº 10	62,5	45 – 80	90	80 – 100	100	100
Nº 40	22,5	10 – 35	37,5	25 – 50	75	50 – 100
Nº 80	10	0 – 20	15	5 – 25	20	0 – 40
Nº 200	5	0 – 10	5	0 – 10	6	0 – 12

Como conclusões TAVARES NETO (1976) fez as seguintes observações: as misturas de areia-asfalto a frio com emulsões catiônicas simplificavam o processo de execução no campo, principalmente no preparo das misturas; as faixas granulométricas permitiram orientar a escolha do material, dando uma idéia aproximada das características das misturas e com o uso das emulsões as areias que apresentavam distribuição granulométrica fina poderiam ser usadas.

Figura 2.1. Faixa A apresentada por TAVARES NETO (1976).

As faixas granulométricas apresentadas por TAVARES NETO (1976) possuem um certo problema formal com relação às percentagens de materiais graúdos, pois segundo alguns conceitos de argamassas betuminosas, as misturas de areia-asfalto não devem possuir agregados graúdos e desse modo as faixas apresentadas estariam caracterizando mais um pré-misturado a frio do que uma mistura areia-asfalto.

Figura 2.2. Faixa B apresentada por TAVARES NETO (1976).

Figura 2.3. Faixa C apresentada por TAVARES NETO (1976).

O uso intensivo de emulsões requer treinamento adicional por parte de engenheiros e técnicos, que apesar de estarem familiarizados com outros tipos de construções e conservação betuminosa, necessitam de mais conhecimentos sobre o emprego de emulsões em pavimentação (*NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM*, 1977). Desse modo, é preciso conhecer determinadas características dessas misturas e principalmente das emulsões. A dosagem das misturas de emulsão

e agregado envolvem outros processos, que não são considerados nas misturas a quente. Por isso, devem ser considerados o tipo e a quantidade de emulsão asfáltica, o teor de água presente na mistura, o tempo de preparo da mistura, a aeração (tempo de cura antes da compactação), compactação, cura dos corpos-de-prova e os ensaios.

O uso de misturas de areia com emulsões é encorajado pelo *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* (1977), através de pequeno aquecimento nas fases de mistura e compactação, podendo substituir a areia-asfalto a quente usada como capa antiderrapante. É recomendado também que o agregado a ser utilizado deve ser uma areia grossa do tipo silicosa contendo pouco ou nenhum material passando na peneira nº 200 (0,074 mm).

A Tabela 2.2 contém a faixa granulométrica típica para misturas de areia com emulsão proposto pelo NCHRP. Outro requisito com relação a areia é que deverá ser áspera e com boa percentagem de partículas angulares, embora não fosse exigida estabilidade elevada nas camadas finas construídas com esses tipo de agregado. Na Figura 2.4 tem-se a curva granulométrica da faixa apresentada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Faixa granulométrica para misturas de areia com emulsão de acordo com *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* (1977).

PENEIRAS		% PASSANDO
Nº 4	4,75 mm	100
Nº 8	2,36 mm	90 – 100
Nº 16	1,18 mm	60 – 80
Nº 30	600 μ m	30 – 60
Nº 50	300 μ m	5 – 15
Nº 100	150 μ m	0 – 10
Nº 200	75 μ m	0 – 5

Nos últimos anos, a utilização de polímeros em ligantes asfálticos vem sendo motivo de muitas pesquisas. Atualmente, existe uma preocupação em se verificar se os polímeros adicionados aos asfaltos realmente incorporam propriedades elásticas às misturas asfálticas. Existem no mercado emulsões asfálticas modificadas com a adição de polímeros, aos quais é atribuída a capacidade de melhorar o desempenho das misturas em diversos aspectos.

Figura 2.4. Faixa granulométrica de acordo com *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* (1977) para misturas de areia-emulsão.

Um estudo comparativo entre misturas de areia-asfalto a frio através da utilização de emulsão convencional e emulsão modificada com polímero foi realizado por SILVEIRA (1999). Este estudo tinha como objetivo avaliar se a emulsão modificada com polímero produzia uma mistura mais resistente ao desgaste e à deformação permanente. Foram usados neste trabalho ensaios de fluência por compressão uniaxial estática e dinâmica, além do ensaio Cantabro para verificar desgaste.

Ainda segundo esse autor as misturas avaliadas apresentaram boa resistência ao desgaste e pequena resistência à deformação permanente e não foram encontradas evidências de que a emulsão modificada com polímero produzia misturas mais resistentes de areia-asfalto a frio.

As aplicações práticas de misturas de areia-asfalto com emulsão requerem alguns cuidados adicionais de execução, principalmente quanto à evaporação da água. Deve-se considerar um tempo mínimo de aeração de 2 horas para a massa espalhada ser compactada e quando a espessura projetada for maior que 4 cm deve-se executar o revestimento em pequenas camadas.

2.3. MISTURAS COM EMULSÃO ASFÁLTICA

2.3.1. Projeto das Misturas

No projeto de misturas envolvendo emulsões asfálticas há dificuldade de reproduzir no campo a cura obtida em laboratório. Fazendo-se uma avaliação dos vários métodos de projeto de misturas asfálticas que utilizam emulsões como ligante conclui-se que nestas misturas não são alcançadas estabilidades máximas, até que virtualmente toda a água da mistura tenha evaporado e sob determinadas condições de campo esta evaporação pode levar de vários meses a até dois anos (WALLER, JR, 1980).

Os procedimentos de cura em laboratório podem causar um efeito significativo nos resultados obtidos nos métodos de projeto das misturas. Em alguns métodos existe cura ou aeração das misturas antes da moldagem dos corpos-de-prova e/ou cura após a moldagem dos corpos-de-prova.

Uma avaliação em laboratório de misturas com emulsões asfálticas usando o método *Marshall* foi feita por MAMLOUK et. al. (1980) onde foram considerados os seguintes fatores: camada de cobrimento do agregado; trabalhabilidade da mistura e perda de umidade da mistura até o final da compactação. A finalidade dessa avaliação era estabelecer uma técnica de laboratório para ser usada na caracterização de misturas de emulsões asfálticas que seriam usadas em revestimentos.

Muitos autores consideram que um procedimento de laboratório para avaliar misturas com emulsão asfáltica deve envolver, além das condições impostas normalmente pelo método *Marshall*, a adição de água ao agregado antes da mistura com a emulsão, mistura mecânica e manual para evitar segregação dos agregados, cura antes da compactação e cura após a compactação.

Muitas técnicas de avaliação desenvolvidas foram baseadas na camada de cobrimento atingida pelo agregado, trabalhabilidade da mistura e taxa de cura antes e

depois da compactação da mistura. É evidenciado também a existência de um ótimo teor de umidade presente na mistura que proporciona à mesma, quando compactada, uma máxima estabilidade *Marshall*. A temperatura dos ensaios e a cura têm um efeito significativo nas propriedades elásticas das misturas de emulsões asfálticas quando avaliadas pelo Método *Marshall*.

DARTER et. al. (1980) fazem uma descrição do uso do equipamento *Marshall* na dosagem de misturas de emulsões asfálticas e levam em conta critérios de teor ótimo de asfalto residual e percentagem ótima de umidade à compactação das misturas. As misturas analisadas neste estudo seriam utilizadas como bases de pavimentos e os agregados utilizados eram compostos de pedregulhos, areias de graduação densa ou pedra calcária britada.

Segundos esses autores um projeto de misturas envolvendo emulsões asfálticas deve determinar os seguintes fatores: conveniência e compatibilidade entre o agregado e a emulsão asfáltica; teor ótimo de umidade à compactação; teor ótimo de resíduo asfáltico e as propriedades adequadas em termos estruturais e de durabilidade.

Fica muito claro que as misturas que utilizam emulsões asfálticas como ligante necessitam da adição de água ao agregado antes da mistura com a emulsão, bem como a existência do teor ótimo de umidade à compactação. Estes fatores são mencionados por MOULTHROP et. al. (1997) que afirmam que na fase de projeto podem afetar o comportamento das misturas de emulsão-agregado.

A importância dos laboratórios nacionais usarem um único método de dosagem para misturas que utilizem emulsões como ligantes é enfatizada por SANTANA (1993). Isso possibilitaria comparar os resultados e esclarecer dúvidas com relação ao efeito do tempo de cura antes e após a compactação dos corpos-de-prova e antes do ensaio de estabilidade.

2.3.2. Aplicações no Campo

As misturas com emulsão asfáltica podem ser usadas em camadas de revestimentos asfálticos, camadas de base e camadas de sub-base, apesar destas duas últimas apresentarem problemas envolvendo a ruptura da emulsão, devido à possível presença de materiais argilosos nos solos usados nestas camadas, pois estes solos poderiam provocar a reemulsificação e/ou acelerar a ruptura da emulsão.

Um exemplo de aplicação prática é mencionado por AL-ABDULWAHHAB et. al. (1980) ao realizarem um estudo com o objetivo de avaliar em laboratório misturas de areia de duna estabilizada com finos britados e emulsão asfáltica para revestimentos e bases de pavimentos a serem usados em estradas de baixo volume de tráfego na Arábia Saudita.

Os autores afirmam que boa parte das estradas de baixo volume de tráfego daquele país passam por regiões onde existem abundância de areias de duna e que por isso seria conveniente usá-las na construção de bases e revestimentos, pois o custo do uso de misturas convencionais seria elevado demais pela importação de agregados mais adequados. Porém, as areias de duna precisavam ser estabilizadas.

A avaliação de laboratório utilizada por AL-ABDULWAHHAB et. al. (1980) tinha como objetivo verificar o comportamento das misturas sob carregamento dinâmico para estimar a fadiga e a suscetibilidade quanto à deformação permanente. Foi usado um método de dosagem desenvolvido no estado americano de *Illinois*, adotando um compactador *Marshall* para moldar os corpos-de-prova e seguidas as seguintes etapas para cada mistura: determinação do teor de água adequado para umedecer a superfície do agregado e auxiliar na mistura; determinação do teor ótimo de umidade na mistura para obtenção de uma estabilidade máxima e determinação do resíduo de asfalto exigido para alcançar propriedades necessárias.

Um outro emprego das misturas de emulsões asfáltica é na reciclagem de pavimentos flexíveis. As misturas a serem usadas no processo de reciclagem, em sua fase de

projeto, também devem seguir as mesmas tendências das misturas usuais com emulsão. SABOGAL (1996), ao traçar um diagnóstico sobre a reciclagem de pavimentos flexíveis utilizando emulsões asfálticas, cita algumas causas na fase de projeto que podem afetar consideravelmente o desempenho das misturas que empregam emulsões como ligantes, entre elas: o uso de emulsões inapropriadas para determinado serviço; deficiência na determinação do teor ótimo de umidade presente para o preparo da mistura e para a compactação; a falta de unificação dos critérios de projeto e determinação inadequada dos módulos e níveis de fadiga das misturas.

Atualmente as misturas de areia-asfalto a frio são relativamente difundidas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. São usadas principalmente em revestimentos de estradas de baixo volume de tráfego ou em pavimentos urbanos dos bairros de subúrbios. Em muitas cidades o uso das emulsões asfálticas encontra algumas restrições, uma delas são as licitações de obras de pavimentação que ainda exigem o uso dos asfaltos diluídos para a fabricação de misturas de areia-asfalto a frio.

CAPÍTULO 3

ALGUMAS PARTICULARIDADES DAS MISTURAS DE EMULSÃO ASFÁLTICA-AGREGADO

As misturas de emulsão-agregado requerem alguns cuidados adicionais em relação às misturas de concreto asfáltico e com asfaltos recortados, tanto na fase de projeto (dosagem), quanto na fase de construção. Estas misturas possuem algumas peculiaridades que estão ligadas diretamente à tecnologia empregada na produção das emulsões asfálticas. Este material asfáltico, dependendo do tipo, pode possuir até 50% de água na sua composição e esta característica das emulsões, em alguns casos, pode dificultar o seu emprego, principalmente nas etapas de mistura com o agregado, compactação e após a compactação.

Desse modo, uma das características muito importante dessas misturas é a cura, ou seja, o processo de perda de água da mistura, que pode ocorrer antes e depois da compactação. Além disso, a água usada na molhagem do agregado tem efeito considerável na trabalhabilidade dessas misturas.

A eliminação da água contida nas misturas feitas com emulsão é muito importante nas fases de dosagem e execução no campo e muitos autores fazem referência a este processo. (MAMLOUK et. al. 1980) afirmam que a principal desvantagem das misturas de emulsão asfáltica é o lento desenvolvimento da estabilidade (resistência), que é favorecida pela perda de umidade da mistura.

3.1. CURA ANTES DA COMPACTAÇÃO

No revestimentos de areia-asfalto a frio executados com asfaltos recortados é comum observar-se a presença de fissuras que seriam provenientes da compactação com pouca cura. A cura tem grande reflexo na vida do pavimento e em outras propriedades dessas misturas, pois a presença do solvente no ligante impossibilita o endurecimento completo do asfalto.

Nos ensaios de laboratório realizados em misturas de areia-asfalto feitas com asfaltos recortados, geralmente, as misturas ficam curando em estufa e depois é feita a moldagem dos corpos de prova. Em processos de execução no campo as misturas de areia-asfalto, também com asfaltos diluídos, são espalhadas na pista e revolvidas em determinados intervalos de tempo. O revolvimento é normalmente executado com o auxílio de uma motoniveladora.

Uma maneira de verificar a influência da perda do solvente na estabilidade da mistura com asfalto diluído é extrair amostras após cada revolvimento e então compactá-las no laboratório. Desse modo, pode-se obter uma idéia da variação da estabilidade com o tempo e com o revolvimento da mistura no campo.

No caso das misturas executadas com emulsão asfáltica a maior preocupação é com relação à água contida no ligante, pois o teor de solvente pode, em alguns tipos de emulsão, ser praticamente nulo. No casos das emulsões catiônicas de ruptura lenta o teor de solvente, segundo as especificações, é nulo.

Uma investigação do efeito da cura antes da compactação em misturas com emulsão asfáltica foi feita por MAMLOUK et. al. (1980) que avaliaram o efeito da cura em seu trabalho sob duas condições: à temperatura de 22°C (considerada temperatura ambiente) e a 60°C feita em estufa. Ainda segundo estes autores foi estipulado um critério onde a quantia de água presente na mistura não deveria exceder 4,5% do peso de agregado seco para que a mistura fosse compactada.

Como resultados do trabalho de MAMLOUK et. al. (1980) foi determinado que o teor de umidade preestabelecido era obtido após 1 horas de cura a 60°C e após 10 horas de cura à temperatura ambiente.

O tempo de cura antes da compactação não é apenas importante à remoção da água em excesso existente na mistura, mas também para facilitar a compactação, bem como permitir melhor envolvimento do agregado pela emulsão. A cura feita em estufa é considerada favorável à misturação e à compactação, porém WALLER, JR (1980) afirma que a cura das misturas com emulsão asfáltica feita em estufas, acima da temperatura ambiente, pode não ser realista e interferir nas suas propriedades.

Como é possível que a cura antes da compactação traga melhorias significativas aos projetos dessas misturas, percebe-se a necessidade de se determinar um tempo conveniente para a eliminação da água contida nas misturas.

Fazendo uma breve avaliação de alguns métodos de projetos para misturas de emulsões asfálticas, conclui-se que o procedimento de cura possui um efeito significativo nos resultados obtidos e que em alguns métodos existe cura antes da moldagem dos corpos-de-prova, em outros é feita cura dos corpos-de-prova após a moldagem ou os dois procedimentos de cura.

A maior dificuldade até o momento tem sido correlacionar valores de ensaios de laboratório com características de desempenho no campo, particularmente com relação à cura da mistura. Segundo afirma MOULTHROP et. al. (1997) a inexistência desta correlação tem sido uma das grandes barreiras para o uso mais amplo das misturas com emulsão asfáltica.

Desse modo os fatores que afetam claramente o desempenho das misturas com emulsões asfálticas são o teor de água a ser adicionado para molhagem dos agregados e a percentagem de água presente na mistura no início da compactação. Este valores precisam ser determinados para garantir uma boa distribuição do asfalto e obter a densidade máxima possível.

Um estudo que serviu de base à norma do DNER sobre dosagem de misturas a frio (DNER-ME 107/94) foi desenvolvido por J. LOPES & KASUGA (1976) citado por SANTANA (1993)¹. Este estudo trazia observações sobre a tecnologia empregada à produção de misturas a frio com emulsões asfálticas. Estes autores chamavam a atenção para a existência de uma umidade ótima de compactação, que seria correspondente a 50% de toda a água existente na mistura, isto é, a água de molhagem do agregado e a água presente na própria emulsão.

3.2. CURA APÓS A COMPACTAÇÃO

As misturas com emulsão asfáltica têm sua resistência aumentada com a perda de água existente na emulsão, ou na mistura em si. A cura em laboratório de corpos-de-prova após a compactação pode trazer ganhos de resistência e simular o processo sofrido no campo ao longo dos meses. Diversos modos de cura podem ser encontrados nos métodos pesquisados. Os métodos utilizam cura à temperatura ambiente ou em estufa a uma temperatura acima da ambiente.

Em pré-misturados a frio feitos com asfalto diluído existe, em alguns métodos, a estimativa de um *Índice de Cura* que foi desenvolvido por técnicos do estado do Texas (EUA), bem como, a variação no tempo de cura dos corpos-de-prova para obtenção dos parâmetros físicos da mistura pelo método *Marshall* (BIRMAN, 1961).

Uma correlação entre o processo de cura em laboratório e o desempenho no campo para misturas feitas com emulsão asfáltica foi investigada por MAMLOUK et. al. (1980) realizando três condições de cura para corpos-de-prova feitos no equipamento *Marshall* e comparando essas condições ao efeito da cura no campo. Na primeira condição o corpo-de-prova curava um dia à temperatura ambiente (22°C), que representava a fase inicial logo após à construção do pavimento; na segunda condição o corpo-de-prova ficava curando três dias à temperatura ambiente (22°C) e representava a cura intermediária no campo e na terceira condição ficava três dias curando em estufa (49°C), que representava a cura a longo prazo no campo.

¹ J. LOPES & KASUGA (1976). *Misturas tratadas com emulsões*. 1º Encontro de Asfalto – IBP. Rio de Janeiro.

No caso das misturas com emulsões a condição de cura dos corpos-de-prova é outro fator que tem influência na perda de umidade. Os corpos-de-prova fora do molde favorecem a perda da umidade existente nas misturas pois a área para liberação é maior do que quando ficam no molde. O melhor ambiente de cura seria temperatura alta e tempo seco, sendo obtido mais rapidamente maior potencial de desempenho. DARTER et. al. (1980) desenvolveram um procedimento de ensaio para avaliar a influência do tempo de cura em corpos-de-prova de misturas asfálticas com emulsão, onde grupos de corpos-de-prova foram curados à temperatura ambiente e ensaiados em momentos diferentes, desde imediatamente após a compactação, até depois de 48 dias da moldagem.

Ainda segundo esses autores a perda de umidade das misturas compactadas ocorre muito rapidamente durante os dias iniciais do procedimento de cura. Isto resultaria num aumento rápido da resistência dos corpos-de-prova. Desse modo, acredita-se que para obter-se uma estabilidade mínima aceitável sejam necessários de três a cinco dias de cura à temperatura ambiente, pois ocorreria a remoção da maior parte da umidade existente nas misturas.

Para MOULTHROP et. al. (1997) muitos dos procedimentos existentes para projeto de misturas com emulsões asfálticas são complicados demais e exigem um tempo considerável para completar o processo e que até mesmo procedimentos semelhantes geram propriedades completamente diferentes, que segundo o autor seria, principalmente, devido às diferenças nos procedimentos de cura.

Em um procedimento de cura adaptado, SILVEIRA (1999), em seu estudo experimental, mantinha corpos de prova curando dentro dos moldes em estufa a 60°C por 24 horas. Após este período eram extraídos dos moldes e então passavam 7 (sete) dias fora do molde à temperatura ambiente. Em seguida eram colocados em sacos plásticos para evitar a perda de umidade e deixar todos os corpos-de-prova em condições semelhantes, independente da data de moldagem, para então serem rompidos.

Segundo o método de dosagem normalizado pelo DNER (ME 107/94) a cura após a compactação dos corpos-de-prova deverá ser realizada dentro do molde em estufa a 60° C por 24 horas. Em seguida os corpos-de-prova são retirados da estufa e deixa-se que os mesmos esfriem à temperatura ambiente por no mínimo 2 horas. Porém, este método não recomenda prazo limite de cura fora do molde.

3.3. ÁGUA DE MOLHAGEM DOS AGREGADOS

Uma das vantagens de usar misturas com emulsões asfálticas é a possibilidade de usar agregados umedecidos e a economia de energia com a eliminação da etapa de secagem dos agregados. O umedecimento auxilia no cobrimento da emulsão sobre o agregado, evita a segregação de partes da mistura e ajuda na trabalhabilidade. Algumas das vantagens das misturas de emulsões asfálticas sobre o concreto asfáltico são a economia de energia e a não poluição do ar, com a eliminação da operação de secagem dos agregados.

A quantidade de água a ser adicionada para molhagem dos agregados deverá ser suficiente para ajudar na distribuição da emulsão sobre a superfície do material granular, mas não deverá ser usada água em excesso, pois a emulsão poderá escoar. A porcentagem de água a ser adicionada é determinada normalmente por testes de tentativa, sendo muitas vezes baseada apenas na inspeção visual, ou seja, água suficiente para escurecer o agregado.

Nos experimentos realizados para estabelecer a quantidade de água a ser adicionada aos agregados, geralmente, fixa-se um teor ótimo de ligante e é variada a porcentagem de água. Na maioria das vezes os teores de água de molhagem do agregado encontram-se na faixa de 3% a 5% em relação ao peso de agregado (excluindo a água contida na emulsão).

No procedimento de confecção de corpos-de-prova pelo método *Marshall* o propósito de adicionar água ao agregado, antes de misturá-lo com a emulsão, é evitar

a formação de bolhas em partículas bem granuladas e promover um cobrimento uniforme da superfície do agregado (MAMLOUK et. al., 1980).

É recomendável que a água de molhagem seja adicionada de 10 a 15 minutos antes da emulsão, permitindo assim que os vazios da superfície dos agregados sejam preenchidos e a camada de umidade seja uniforme. Para efeito de projeto de misturas com emulsões asfálticas é adequado selecionar o teor ótimo de água a ser adicionado ao agregado juntamente com o teor ótimo de emulsão asfáltica. Para isso, podem ser usados dois teores de água e três teores de emulsão asfáltica.

Acredita-se que a interação da água adicionada ao agregado e o teor de emulsão asfáltica tenham um efeito considerável na estabilidade *Marshall* e em outros parâmetros estudados na fase de projeto da mistura.

É relatado por SABOGAL (1996) que algumas das falhas na reciclagem de pavimentos flexíveis com emulsões asfálticas são a determinação inadequada da umidade ótima de mistura e de compactação. CARVALHO FILHO & BORDES (1997) quando relatam trabalhos feitos, em Pernambuco, com a técnica de grave-emulsão, ressaltam a importância da pré-mistura do agregado com água, tendo como objetivo melhorar a homogeneidade do produto final e a sua estocagem.

CAPÍTULO 4

EMULSÕES ASFÁLTICAS

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As emulsões asfálticas são dispersões de um cimento asfáltico de petróleo em uma fase aquosa com auxílio de um agente emulsificante.

Para produzir uma emulsão é necessário triturar o cimento asfáltico num moinho coloidal, juntamente com a água e o emulsificante. Desse modo o cimento asfáltico é dispersado na água e suas partículas são envolvidas pelo emulsificante, o qual impede que as mesmas voltem a se unir, o que provocaria ruptura ou a quebra da emulsão. Além dos produtos básicos usados na fabricação da emulsão asfáltica podem ser encontrados no processo fluxantes, solventes e ácidos. Na Figura 4.1 tem-se um esquema da produção de uma emulsão asfáltica catiônica.

Os emulsificantes utilizados na fabricação de emulsões asfálticas são produtos químicos à base de aminas graxas e são assim chamados porque sua produção é feita a partir de ácidos graxos, geralmente sebo (gordura) animal e em alguns casos óleos vegetais. Esses ácidos graxos são tratados com amônia a 300°C na presença de um catalisador, gerando primeiro uma amida e depois uma nitrila. Este último produto é muito instável e reativo, o qual é convertido em amina através de hidrogenação em autoclave, usando o níquel como elemento catalisador.

Figura 4.1 – Esquema para produção de emulsão asfáltica (IBP, 1994).

É interessante observar que os produtos usados como emulsificantes: aminas graxas; diaminas; etc, são os mesmos produtos normalmente usados para dopar o asfalto e melhorar suas características de adesão. Segundo NEDER et. al. (1996) a amina graxa possui uma forte e às vezes permanente tendência de se ligar à sílica (SiO_2) presente nos agregados e esta ligação pode permanecer mesmo sob a ação da água, aumentando a adesão entre o betume e o agregado.

Ainda segundo estes autores o fato dos emulsificantes serem depois usados como melhoradores de adesão é uma das grandes vantagens do uso das emulsões asfálticas, isto é, a possibilidade de serem usados agregados úmidos e em certos casos até a necessidade de serem umedecidos.

4.2. TIPOS DE EMULSÕES ASFÁLTICAS

As emulsões asfálticas podem ser do tipo catiônicas (eletrizada positivamente) ou aniônicas (eletrizada negativamente) e o que determina o seu tipo é a natureza eletrolítica do emulsificante. Emulsão asfáltica catiônica seria um sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa (emulsão direta), ou de uma fase aquosa em uma fase asfáltica (emulsão inversa), que apresentam partículas eletrizadas positivamente.

No Brasil, atualmente, só são normalizadas e comercializadas emulsões do tipo catiônica e normalmente são empregadas nos serviços de pavimentação as emulsões do tipo direta. Na Tabela 4.1 há uma relação de serviços rodoviários onde são empregadas as emulsões asfálticas catiônicas.

Tabela 4.1 – Serviços rodoviários e o emprego das emulsões asfálticas catiônicas IBP (1994).

SERVIÇOS RODOVIÁRIO	TIPO DE EMULSÃO
Pintura de ligação	RR-1C, RR-2C, RM-1C, RM-2C e RL-1C
Tratamentos superficiais	RR-1C e RR-2C
Pré-misturado a frio	RM-1C, RM-2C e RL-1C
Areia-asfalto a frio	RM-1C, RM-2C e RL-1C
Misturas na estrada (Road-mix)	RM-1C, RM-2C e RL-1C
Solo betume	RL-1C, LA-1C e LA-2C
Lama asfáltica	LA-1C, LA-2C e RL-1C

Além das emulsões comumente encontradas existem mais dois tipos, chamadas de bi-iônicas e não iônicas. Porém, o emprego dessas emulsões é muito restrito e não há, no Brasil, especificações para estes materiais.

4.3. CLASSIFICAÇÃO DAS EMULSÕES ASFÁLTICAS

A classificação das emulsões asfálticas catiônicas é feita de acordo com a sua ruptura, viscosidade *Saybolt Furol*, teor de solvente, desemulsibilidade e resíduo de destilação. Podem ser de 7 (sete) tipos:

- **RR-1C e RR-2C:** emulsão de ruptura rápida;
- **RM-1C e RM-2C:** emulsão de ruptura média;
- **RL-1C:** emulsão de ruptura lenta;
- **LA-1C e LA-2C:** emulsão para lama asfáltica do tipo catiônica.

4.4. RESUMO HISTÓRICO DO USO DAS EMULSÕES ASFÁLTICAS

Uma das primeiras utilizações das emulsões asfálticas foi para controlar problemas de poeira e erosão provocados por automóveis. A emulsão utilizada para fazer este controle consistia da emulsificação de um “produto do petróleo residual” e data de 1903. Em 1907 vários trechos experimentais com óleos emulsionados (produtos

líquidos derivados do petróleo usados para tratamento anti-pó) foram executados na América do Norte (*NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM*, 1977).

Ainda segundo o *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* (1977) as experiências com emulsões, naquela época, eram feitas com a finalidade de comparar os novos produtos aos produtos considerados convencionais. Em 1914, surgiu a emulsão asfáltica tendo a argila como principal elemento emulsificante, mas em 1928 esse produto deixou de ser usado devido à re-emulsificação sob a ação da água e do tráfego de veículos. Neste mesmo ano a *ASTM-American Society of Testing Materials*, já havia elaborado alguns métodos de ensaio e esquemas de análise para avaliar as propriedades das emulsões asfálticas.

As emulsões asfálticas catiônicas foram introduzidas nos Estados Unidos em 1958 e já haviam sido utilizadas na Europa com a intenção de obter asfaltos emulsionados que tivessem melhor aderência com agregados, tais como: seixo e materiais silicosos.

Historicamente as emulsões asfálticas aniônicas precederam as catiônicas, mas devido aos problemas de adesão com os agregados e o surgimento das emulsões catiônicas, essas foram aos poucos sendo substituídas, pois as emulsões catiônicas comportavam-se satisfatoriamente com agregados que possuíam carga superficial negativa ou positiva.

Tanto nos Estados Unidos como no Brasil as emulsões asfálticas passaram a substituir mais freqüentemente os chamados asfaltos diluídos na década de 60 e 70. Nos Estados Unidos, organismos oficiais passaram a recomendar a substituição dos asfaltos diluídos e cimentos Asfálticos por emulsões asfálticas, desde que houvesse essa possibilidade e davam preferência às obras que utilizassem misturas a frio e principalmente emulsões asfálticas, isso tudo devido aos problemas energéticos e ao controle ambiental.

No Brasil, a partir da década de 70, as emulsões começaram a ter uso mais intenso, substituindo os asfaltos diluídos na confecção de PMF's (Pré-misturados a frio), pois os asfaltos recortados apresentavam problemas de adesividade com o agregado e principalmente com a evaporação do solvente (nafta, querosene, óleo diesel) usado na sua composição. SANTANA (1993) afirma que a utilização em escala industrial de pré-misturados a frio com emulsões asfálticas começou a partir de 1966 e eram usados em camadas de regularização de bases e posteriormente como revestimentos.

4.5. PROBLEMAS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

Apesar das emulsões estarem disponíveis desde 1903 e serem usadas extensamente desde 1930, preocupações com gastos de energia e prejuízos ao meio-ambiente, durante a década de 1970, focalizaram a atenção sobre o uso desses materiais, segundo o *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* (1977). De acordo com este organismo o uso de asfaltos diluídos de cura rápida (CR) e média (CM), por volta de 1963, começou a decrescer e o uso das emulsões aumentou.

Desse modo os serviços de construção e conservação rodoviária poderiam apresentar possibilidades de economia no consumo de energia com a substituição de asfaltos diluídos por emulsões e de misturas convencionais a quente por misturas de emulsões a frio.

Em 1973, a *FHWA – Federal Highway Administration* citada no *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* (1977)², emitiu uma nota sobre economia de combustíveis nas construções rodoviárias que recebiam recursos federais. Este organismo rodoviário encorajava os estados americanos a reverem e a buscarem novas alternativas ao uso de combustíveis nas obras em andamento ou em obras futuras. Aliado a isso sugeria: reduzir ao mínimo o uso de asfaltos diluídos,

² NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. (1977). Synthesis of highway practice, 30 – Emulsões betuminosas para pavimentos rodoviários (Bituminous emulsions for highway pavements) Revisor da Tradução João Bento J. Lopes, Rio de Janeiro, IPR, 93p. (Publ. 612).

sendo estes substituídos por emulsões ou outros materiais betuminosos e reduzir as temperaturas de misturas feitas em usinas a quente.

Segundo TAVARES NETO (1976) com emulsões asfálticas os trabalhos de pavimentação são executados de maneira muito semelhante quando se emprega cimento asfáltico, porém de modo um pouco mais simples e econômico, pois é dispensando qualquer aquecimento tanto do ligante como dos agregados envolvidos na mistura.

Mas com o uso de emulsões asfálticas existe também a possibilidade de contaminação do meio ambiente, ou seja, rios; lagos; etc. Sendo a emulsão uma suspensão de asfalto em água, a mesma pode ser levada por água da chuva se o processo de cura ainda não estiver razoavelmente completo.

A substituição dos asfaltos recortados por emulsões é prevista há algum tempo e conforme MOULTHROP et. al. (1997) afirmam, no futuro os asfaltos diluídos serão completamente substituídos por emulsões asfálticas, devido às emissões de poluentes e/ou gastos de energia. Além disso, por causa da falta de segurança e riscos à saúde causados por misturas feitas com cimento asfáltico. Porém, uma das barreiras para que isso ocorra é a falta de padrões nos projetos de misturas feitas a partir de emulsões asfálticas.

4.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DAS EMULSÕES ASFÁLTICAS

O emprego das emulsões asfálticas em relação ao uso de asfaltos diluídos e CAP's apresenta as seguintes vantagens: maior simplicidade de execução; permite a utilização de agregados umedecidos; dispensa o uso de secador para agregados e sistemas de aquecimento da usina para o ligante; não necessita de tempo de cura muito grande para evaporação de solventes; podem ter sua fabricação de acordo com o tipo de obra, onde o tempo de ruptura e viscosidade podem ser especificados; eliminam riscos de incêndio e explosões; tanto o transporte como a estocagem

podem ser feitos à temperatura ambiente e possui adesividade satisfatória aos agregados.

Podem ser consideradas como desvantagens que afetam o emprego das emulsões asfálticas em pavimentação: a tecnologia construtiva e de projeto empregada nas misturas de emulsões asfálticas é completamente diferente da usada para os cimentos asfálticos, logo o manuseio desse material é diferente; os técnicos envolvidos em projeto e construção de misturas com emulsão asfáltica, precisam estar familiarizados, pois a experiência adquirida com misturas a quente não garante nenhum sucesso; os procedimentos de projeto das misturas não possuem bases reconhecidas pela grande maioria dos organismos rodoviários; determinados fatores que afetam as propriedades das misturas não são plenamente explicados e a qualidade da emulsão nem sempre é garantida.

Com relação à qualidade da emulsão pode-se acrescentar que as indústrias fabricantes nem sempre prezam por este fator. Primeiro porque os custos de implantação e manutenção de uma fábrica de emulsão asfáltica são muito baixos, possibilitando a entrada de empresas, no setor de asfaltos, apenas com o interesse de obter lucros sem responsabilidades. Desse modo, surgem fontes produtoras que oferecem no mercado produtos sem garantia e sem assistência.

4.7. O MECANISMO DE RUPTURA NAS EMULSÕES ASFÁLTICAS

A emulsão asfáltica ao entrar em contato com o material pétreo passa a estabelecer uma reação química entre o emulsificante e o agregado. Aos poucos o emulsificante perde a sua ação estabilizante sobre o cimento asfáltico. Com isso as partículas de asfalto que estavam dispersas na água tendem a se unirem e precipitarem sobre o agregado formando uma película espessa e contínua sobre o mesmo.

O processo de ruptura também pode ser facilitado através de uma série de fenômenos físicos, tais como: aquecimento; evaporação da água de dispersão; sedimentação prolongada da emulsão; centrifugação prolongada; agitação constante; etc. No caso

das emulsões asfálticas catiônicas a reação química entre o emulsificante e o agregado é o principal fator que provoca a ruptura ou quebra da emulsão.

A ruptura é pouco sensível às condições climáticas e esta característica é importantíssima, pois permite a execução dos trabalhos no campo mesmo com tempo úmido. Segundo TAVARES NETO (1976) o mecanismo de ruptura, muitas vezes, é mal conhecido e atribuído somente à evaporação da água existente na mistura. Quando na verdade ocorre mais por reação química entre o emulsificante e o agregado e muito menos pela evaporação da água e que no caso das emulsões aniônicas se dá o contrário.

Segundo COSTA et. al. (1996) os fenômenos químicos envolvidos no processo de ruptura da emulsão ocorrem de forma mais ou menos completa quando o material está na presença de agregados e esses fenômenos acontecem devido à adsorção do asfalto na superfície do agregado.

Outro fator que pode favorecer a ruptura das emulsões asfálticas é a compactação. Segundo afirma SABOGAL (1996) a ruptura das emulsões utilizadas na reciclagem de pavimentos flexíveis deve ocorrer durante a compactação. Começando assim o período de maturação da mistura. Segundo este autor o tempo de maturação depende das condições iniciais da capa, das condições climáticas e dos níveis do trânsito.

Um indicativo prático para verificar a ruptura da emulsão é a mudança de coloração na mistura. A emulsão antes da ruptura apresenta cor marrom, muito semelhante ao café e após a ruptura sua cor muda para preto. Durante este processo ocorre também a deposição de água na superfície da mistura. O uso de agregados finos (misturas densas) e/ou *filler* pode acelerar o processo de ruptura das misturas de emulsão asfáltica.

Em amostras muito pequenas é comum observar a ruptura superficial das misturas que mudam da coloração marrom para a preta, seguida da deposição de água na sua

superfície. Geralmente, nestas amostras, o simples revolvimento das misturas pode desfazer a ruptura parcialmente.

CAPÍTULO 5

MÉTODOS DE DOSAGEM DE MISTURAS A FRIO COM EMULSÃO ASFÁLTICA

De um modo geral os vários métodos de projeto para misturas a frio com emulsão asfáltica utilizam o Método *Marshall* para compactar e ensaiar as misturas. Porém, algumas modificações foram feitas para acomodar as exigências das emulsões asfálticas. Embora haja algumas diferenças entre esses procedimentos de laboratório, geralmente são listados alguns itens em comum, tais como: água para umedecimento do agregado; tipo de emulsão asfáltica; teor ótimo de asfalto residual; tempos de cura para as misturas; estabilidade; etc.

Na maioria dos métodos analisados o tempo de cura antes e depois da compactação tem peso importante. Segundo WALLER, JR (1980) os resultados são diretamente influenciados pela perda de umidade da mistura que é favorecida pela cura. Para MOULTHROP et. al. (1997) as misturas executadas com emulsões asfálticas precisam de padrões de dosagem. Pois segundo estes autores um dos motivos à restrição do uso das emulsões asfálticas é devido aos métodos de dosagem, que são relativamente mais complexos e demorados.

No Brasil, atualmente, existe o método de dosagem normalizado pelo DNER para misturas com emulsões asfálticas, o ME 107/94. Este método é resultado de uma série de adaptações e derivado de um trabalho proposto por J. Lopes e Kasuga (SANTANA, 1993). Estes autores publicaram em 1976 um trabalho que trazia

detalhes da tecnologia empregada em PMF até então no país, bem como, sugestões de especificações e a proposição de adaptação do método *Marshall* (usado em misturas a quente) para misturas a frio (SANTANA, 1993).

Em 1980, o DNER normalizou a proposição desses autores sob o número DNER-ME 107-80, porém algumas modificações foram feitas. As principais modificações realizadas no método de J. Lopes e Kasuga pelo DNER estão descritas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Diferenças entre os métodos de dosagem do DNER-ME 107/94 e o método proposto por J. Lopes e Kasuga.

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DO DNER 107/94	MÉTODO DE J. LOPES E KASUGA
Faixa de viscosidade ótima para a misturas de emulsão asfáltica	75 a 95 SSF	Não especificada
Umidade ótima de compactação	Não faz referência	50% da umidade total da mistura
Diâmetro máximo do agregado	D < 38,1 mm	D < 25,4 mm
Cura antes da compactação	Emulsão RR ou RM de 4 a 6 horas Emulsão RL no máximo 1 hora	Faz referência à umidade ótima de compactação, a qual deverá corresponder a 50% da umidade total da mistura.
Cura após a compactação	24 horas no molde e em estufa a 60° C	36 horas no molde e em estufa a 60° C ou até peso constante

Aparentemente as diferenças entre os métodos podem ser insignificantes, mas fazendo uma comparação prática entre os mesmos percebe-se que o método normalizado pelo DNER é infeliz em certos aspectos, pois traz modificações em relação ao original que podem comprometer significativamente os resultados de uma dosagem, principalmente, com relação à cura antes da compactação.

No método do DNER a cura das misturas, principalmente com emulsões de ruptura lenta, praticamente não existe. No método proposto por J. Lopes e Kasuga é especificada a umidade ótima de compactação ou percentual de umidade perdida para a compactação, a qual corresponderia à aproximadamente 50% da umidade total presente nas misturas, isto é, água contida na emulsão asfáltica e a água usada para umedecer o agregado antes da adição da emulsão.

A inexistência da cura antes da compactação para emulsões do tipo ruptura lenta afeta diretamente o processo de compactação das misturas de areia-asfalto a frio. O

procedimento de compactação por impacto, realizado através do equipamento *Marshall*, é dificultado e produz misturas com baixa densidade, volume de vazios alto e resistência muito pequena (MAMLOUK, 1980). Além do mais a expulsão de emulsão asfáltica para fora do cilindro de moldagem pode comprometer o teor de asfalto das misturas compactadas.

O equipamento compactador *Marshall* não é o mais recomendado para esse tipo de mistura realizada a frio com emulsão asfáltica. Porém, é um equipamento acessível, além de ser o método de dosagem mais difundido atualmente no Brasil. Segundo MOTTA et. al. (1996) o uso do método *Marshall* e dos parâmetros associados a este procedimento são regra geral no Brasil.

O método *Marshall* é constantemente empregado por ser ainda um ensaio padrão e aceito pelos organismos rodoviários e de pesquisa em geral, apesar de FERNANDES JR & ODA (1996) ressaltarem as limitações dos métodos empíricos, devido ao fato de terem sido desenvolvidos em épocas que prevaleciam veículos e materiais diferentes dos usados hoje em pavimentação..

A utilização do compactador giratório é enfatizada por FERNANDES JR & ODA (1996) para a preparação de corpos-de-prova e que este tipo de compactador tem por finalidade simular características estruturais do revestimento. Vale ressaltar que o mecanismo de compactação giratória é realizado por amassamento da mistura asfáltica e é provável que mesmo utilizando este tipo de compactador seja necessário favorecer a perda de umidade nas misturas com emulsão asfáltica para a compactação.

Outro fator que poderá influenciar significativamente no desempenho das misturas é a energia de compactação durante a fase de projeto. DARTER et. al. (1980) afirmam que resultados de laboratório, utilizando o equipamento compactador *Marshall* na preparação de corpos-de-prova com emulsão, mostraram que com o aumento do número de golpes de 50 para 75 por face, houve incremento significativo na estabilidade, no módulo de resiliência e na densidade.

Ainda segundo estes autores com 75 golpes por face do corpo-de-prova a densidade do laboratório estaria próxima da densidade de campo após 1 ou 2 anos de construção. É possível que corpos-de-prova moldados com 75 golpes por face tenham uma compactação mais intensa e com isso haja menor variação dos resultados para um mesmo teor de ligante.

CAPÍTULO 6

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

As deformações permanentes que ocorrem na estrutura de um pavimento são devidas às repetidas passagens dos veículos que causam uma densificação nas camadas da estrutura como um todo devido à diminuição do volume ocupado pelo material que compõe a mistura e devido à deformação por cisalhamento desse material. Porém, existe uma parcela dessa deformação que é exclusiva do revestimento asfáltico usado nos pavimentos.

Os revestimentos de areia-asfalto a frio possuem ao longo da sua vida de serviço os mesmos mecanismos de deterioração que ocorrem nos revestimentos mais tradicionais. No caso desses a deformação permanente pode ser agravada, uma vez que a ausência de agregados graúdos na mistura e as médias de temperatura relativamente altas (regiões Norte e Nordeste do Brasil) poderiam acelerar ou acentuar a deterioração desses revestimentos. Aliado a esses dois fatores podemos associar ainda os problemas de deficiência de projeto, execução e controle inadequados.

As deformações permanentes que ocorrem num pavimento (trilhas de roda) desenvolvem-se gradativamente com o aumento do número de repetições de cargas, que são provocadas pelos veículos que trafegam sobre o pavimento. Estas

deformações contribuem para a perda de serventia, causando problemas de insegurança nas rodovias.

Acredita-se que com um período de cura das misturas de areia-asfalto a frio mais adequado, atingindo um ponto ótimo de umidade presente na mistura antes da compactação, chegar-se-ia a uma densidade máxima e desse modo as respostas aos ensaios de fluência por compressão uniaxial estática seriam melhores.

6.1. ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

Existe uma parcela da deformação permanente que é exclusiva do revestimento asfáltico. A estabilidade mecânica apresentada por uma mistura asfáltica a ser utilizada na construção de pavimentos flexíveis é um dos parâmetros mais importantes a ser determinado durante a fase de projeto, pois esta estabilidade está relacionada à probabilidade de um pavimento apresentar ou não deformações permanentes excessivas.

Por longo tempo, o ensaio *Marshall* de estabilidade vem sendo largamente utilizado para fazer essa estimativa e o sucesso obtido tem sido discutível. Devido a esse fato tem-se empregado mais freqüentemente os ensaios de *creep test* ou o ensaio *dynamic creep test*. Segundo MOTTA et. al. (1996) tanto o ensaio estático quanto o dinâmico mostram-se promissores na avaliação das misturas asfálticas quanto à deformação permanente e existe uma tendência das pesquisas em se dirigirem para esses tipos de ensaios por serem mais adequados para avaliar misturas em sua fase de projeto.

O ensaio de *creep test* consiste na materialização da clássica experiência de *Newton* para análise de fluxos viscosos, onde isto é feito na forma de um ensaio de compressão axial. Na literatura consultada não foi possível precisar uma data na qual o ensaio começou a ser usado, mas é provável que o seu uso tenha sido difundido partir da década de 70, coincidindo com pesquisas realizadas pela Companhia *Shell* da cidade de Amsterdã, na Holanda. A base teórica do ensaio de *creep test* foi

desenvolvida por Hills no ano de 1973, mediante a criação dos modelos teóricos para a deformação permanente das misturas.

O ensaio de fluência por compressão uniaxial estática, também conhecido como *Creep Test*, consiste na aplicação de tensões estáticas e constantes ao longo do eixo axial de um corpo de prova, por um determinado período de tempo. Com relação ao tempo de aplicação de carga MOTTA et. al. (1996) afirmam que existem algumas tendências da utilização de 1 hora de carregamento ou até que ocorra a ruptura do corpo de prova. O ensaio pode ser realizado numa prensa de adensamento de solos, como os conduzidos por COELHO (1996).

O ensaio de fluência por compressão uniaxial estática poderia ser usado para classificar e avaliar misturas asfálticas com relação à resistência às deformações permanentes e conseqüentemente para a previsão dessas deformações em trilhas de rodas de pavimentos flexíveis (VAN DE LOO, 1974; 1976 e 1978). Isto é impulsionado pela simplicidade de realização do ensaio, bem como, relativa facilidade de aquisição dos equipamentos necessários e o tipo de amostra utilizada no ensaio, que pode ser obtida através do equipamento compactador *Marshall*.

Sendo assim, este ensaio poderia substituir, em termos de classificação das misturas com relação às deformações permanentes, o ensaio *Marshall*. Porém, COELHO (1996) afirma que a utilização rotineira deste ensaio só será possível se houver o desenvolvimento de critérios confiáveis que correlacionem os resultados obtidos em laboratório com o desempenho das misturas no campo.

Muitos métodos de projeto de misturas asfálticas utilizam o ensaio de fluência por compressão uniaxial estática para analisar a capacidade dessas misturas em suportar deformações permanentes. Segundo COELHO (1996) o método de projeto de misturas de concreto asfáltico do Departamento Estadual de Rodovias e Transporte Público do Estado do *Texas* (EUA), utiliza o *creep test* para avaliação das misturas pelo critério das deformações permanentes e foi divulgado por MAHBOUB E LITTLE (1990).

No caso das misturas de areia-asfalto a frio as tensões do ensaio de fluência por compressão uniaxial estática devem ser relativamente pequenas. Tensões da ordem de 0,1 Mpa a 0,4 Mpa podem romper os corpos de prova antes do final do ensaio. SILVEIRA (1999) utilizou os ensaios de *creep test* e *dynamic creep test* para estimar a suscetibilidade de misturas de areia-asfalto a frio feitas com emulsão convencional e emulsão modificada com polímero. Segundo este estudo os corpos de prova utilizados no ensaio dinâmico, com uma tensão da ordem de 0,1 Mpa, romperam antes do final do ensaio. No ensaio estático a tensão foi reduzida para 0,05 Mpa e mais uma vez a maioria dos corpos de prova romperam. Sendo assim, SILVEIRA (1999) concluiu que, levando em consideração os resultados obtidos nestes ensaios, as misturas analisadas eram pouco adequadas para serem usadas em revestimentos, mesmo em condições de baixo volume de tráfego.

A seguir é apresentado um breve resumo do procedimento do ensaio de fluência por compressão uniaxial estática, baseado no *Proposed Standard Test Method for Unconfined Static Creep Test on Asphalt Mix Specimens-ASTM* (1988).

- Confeção dos corpos de prova dando preferência à extração desses de placas compactadas através de rolamento por roda carregada;
- Confinamento térmico dos corpos de prova antes da realização do ensaio;
- Realização de condicionamento prévio nos corpos de prova com aplicação da carga de ensaio;
- Terminada a fase do condicionamento prévio inicia-se o ensaio com aplicação de carga por 60 minutos e registra-se as deformações axiais em intervalos de 30 segundos nos primeiros 5 minutos, em intervalos de 1 minuto por 30 minutos e em intervalos de 5 minutos até o final de 60 minutos da aplicação de carga;
- Finalizado o período de carregamento e realizada a fase de recuperação (15 minutos), consistindo de registros a cada 30 segundos nos primeiros 5 minutos e a cada 1 minuto nos 10 minutos restantes;
- Realizado o ensaio são calculadas:
 - A deformação viscoplástica por $\varepsilon_{vp} = \Delta_{h75}/h_o$, onde:

Δ_{h75} – é a variação da medida da altura do corpo de prova ensaiado ao final do período de recuperação, em mm;

h_o – medida inicial da altura do corpo de prova, em mm.

- As deformações axiais específicas $\epsilon_t = \Delta_{ht}/h_o$, onde:
 Δ_{ht} – é a variação da medida da altura do corpo de prova após um tempo qualquer “t” de ensaio em relação à altura inicial h_o .
- Com os resultados são traçadas as curvas de fluência do material ensaiado utilizando-se uma escala bi-logaritmica e calculam-se os parâmetros para análise da mistura.

CAPÍTULO 7

MATERIAIS USADOS

7.1. AGREGADO

O agregado utilizado na pesquisa foi preparado com areia retirada do rio Mogi Guaçu, num trecho situado no município de Rincão (Fazenda Mandi) e doada pelo Porto de Areia São Carlos Ltda. Este material é extraído diretamente do rio e armazenado na área do porto de areia em lotes. Estes lotes são diferenciados como areia média ou grossa. A quantidade de material coletado, no porto de areia, foi de aproximadamente 700 kg.

7.1.1. Distribuição Granulométrica da areia

A areia do rio Mogi possui distribuição granulométrica conforme a Tabela 7.1, obtida através de peneiramento manual. Vale ressaltar que a quantidade de *filler* na faixa é quase nula.

Tabela 7.1 – Distribuição granulométrica da areia do rio Mogi.

PENEIRAS		PERCENTAGEM PASSANDO
Nº	mm	
3/8"	9,52	100
4	4,76	94
10	2,00	76
40	0,42	25
80	0,177	6
200	0,074	0,4

7.1.2. Peso Específico, Grau de Arredondamento e Esfericidade

Ensaio de peso específico (DNER-ME 194/98), grau de esfericidade e arredondamento foram realizados para caracterizar o agregado utilizado nas misturas e obteve-se os resultados contidos na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Resultados dos ensaios de caracterização do agregado

ENSAIO	RESULTADO
Peso Específico	2,624 g/cm ³
Grau de Arredondamento	Partículas Arredondadas
Grau de Esfericidade	0,86

Métodos de comparação visual apresentados por SUGUIO (1973) foram utilizados para determinação do grau de esfericidade e arredondamento da areia do rio Mogi. Estes métodos são baseados nas tabelas de comparação de Russell e Taylor para o grau de arredondamento. Para o grau de esfericidade foi usada a escala de comparação de Rittenhouse.

Segundo a literatura as areias usadas em misturas com emulsões asfálticas devem ser ásperas e possuir um boa porcentagem de partículas britadas. As areias polidas ou de superfície lisa, obtidas de materiais transportados pela água, tendem a produzir misturas instáveis. Os agregados graúdos e miúdos que apresentam textura rugosa e arestas vivas tendem a desenvolver um maior atrito interno e melhor adesividade do que os agregados arredondados de textura lisa (SANTANA, 1993). KIM et. al. (1992), ao testarem agregados de superfície áspera e de superfície polida quanto à fadiga e à deformação permanente, afirmam que as misturas com agregados mais rugosos são mais resistentes à fadiga e à deformação permanente do que as misturas com os agregados polidos (areias).

7.1.3. Faixa granulométrica da areia

O *NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM* (1977) apresenta uma faixa granulométrica típica para misturas de areia-emulsão asfáltica e afirma que o agregado para essas misturas deve ser uma areia grossa e muito silicosa.

Na Figura 7.1 tem-se a faixa granulométrica utilizada para as misturas ensaiadas neste trabalho. A escolha desta faixa é justificada pela falta de normalização, no Brasil, de faixas granulométricas para misturas de areia-asfalto a frio com emulsões asfálticas. Normalmente, quando se emprega esse tipo de mistura utilizam-se faixas granulométricas de misturas de areia-asfalto a quente ou outras compatíveis, o que não é correto.

Figura 7.1 – Faixa apresentada pelo NCHRP (1977).

7.2. FILLER DE CIMENTO PORTLAND E FILLER DE PEDREGULHO BRITADO

Os materiais usados como *filler* deveriam satisfazer às condições de distribuição granulométrica recomendadas pela especificação do DNER-EM 367/97. Foram usados o cimento *Portland* comum do tipo CP II F 32 e um material inerte proveniente de pedregulho britado. No caso do *filler* de cimento foi realizado peneiramento manual para determinar a percentagem de material passando na peneira 0,074 mm (nº 200)

Quanto à utilização do cimento *Portland*, ele ainda deveria atender às exigências da especificação do DNER-ME 036/95. Na Tabela 7.3 estão contidas as percentagens de cimento *Portland* passando nas peneiras recomendadas pela EM 367/97.

Tabela 7.3 – Percentagem de cimento *Portland* passando nas peneiras recomendadas pela EM 367/97.

ABERTURA DA MALHA (mm)	% EM PESO PASSANDO DNER-EM 367/97	% DE MATERIAL PASSANDO DO CIMENTO UTILIZADO
0,42	100	100
0,18	95 – 100	100
0,075	65 - 100	90

O material inerte usado como *filler* era proveniente da britagem de pedregulho extraído do rio Mogi Guaçu. A britagem do pedregulho resultava numa areia que apresentava uma percentagem de material passando na peneira 0,074 mm (nº 200) de 5%. O *filler* britado foi obtido através de peneiramento manual.

7.3. EMULSÃO ASFÁLTICA

7.3.1. Procedência

A emulsão asfáltica usada nesta pesquisa foi doada pela Ipiranga Asfaltos S/A e é proveniente da usina de asfalto localizada na cidade de Paulínia, no estado de São Paulo. É uma emulsão asfáltica do tipo RL-1C e classificada pela norma do IBP/ABNT-P-EB-174, como: emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta. A emulsão foi doada em latas de 20 (vinte) litros.

7.3.2. Escolha da emulsão asfáltica tipo RL-1C

A escolha da emulsão asfáltica do tipo RL-1C foi baseada na literatura consultada. As emulsões do tipo RM-1C e RM-2C são usadas com agregados com menos finos, ou seja, material passando na peneira # 10 (2,00 mm) e a emulsão RL-1C é recomendada com agregados com mais finos e principalmente com mais *filler* (SANTANA, 1993).

Devido à presença de finos e *filler* na mistura é necessário um tempo maior de contato, sem que ocorra a ruptura da emulsão, para haver um melhor envolvimento das partículas do agregado. Então, é provável que uma emulsão de ruptura média seja selecionada para misturas de graduação aberta e para misturas de graduação densa, uma emulsão de ruptura lenta. Mas é improvável que uma emulsão de ruptura rápida seja selecionada, pois a mesma tende a romper antes do agregado estar perfeitamente coberto pelo ligante.

Outro fator que conduziu à escolha da emulsão asfáltica RL-1C é o fato deste tipo de ligante não conter solvente. A presença de solventes nas emulsões asfálticas pode ser prejudicial à cura das misturas, pois a quantidade de finos nos agregados poderia dificultar a sua evaporação.

A Tabela 7.4 contém especificações de emulsão asfáltica RL-1C comercializada no Brasil.

Tabela 7.4 – Especificações de emulsões catiônicas RL-1C. DNER-EM 369/97

EMULSÃO ASFÁLTICA CATIÔNICA – TIPO RL-1C		
Quadro de Especificações		
CARACTERÍSTICAS	MÉTODOS DE ENSAIOS ABNT	RL-1C
ENSAIOS SOBRE A EMULSÃO		
Viscosidade Saybolt Furol, SSF a 50°C	ABNT MB-581	Máx. 70
Sedimentação, 5 dias, % em peso máximo por diferença	DNER-ME 006	5
Peneiração, (retido na peneira 0,84 mm), % máxima em peso	DNER-ME 005	0,1
Resistência à água, % mínimo de cobertura	DNER-ME 059	
agregado seco		80
agregado úmido		60
Mistura com cimento, % máximo ou filler silícico	DNER-ME 007 DNER-ME 008	2 1,2 – 2,0
Carga da partícula	DNER-ME 002	Positiva
pH, máx.	DNER-ME 149	6,5
Destilação:		
Solvente destilado, % em volume sobre o total da emulsão	NBR-6568	Nulo
Resíduo, % mínimo, em peso		60
Desemulsibilidade, % em peso:		
Mínimo	NBR-6569	-
Máximo		-
ENSAIO SOBRE O SOLVENTE DESTILADO		
Destilação, 95% evaporados, °C, máx	NBR-9616	-
ENSAIOS SOBRE O RESÍDUO		
Penetração a 25°C, 100g, 5s, 0,1 mm	DNER-ME 003	50 – 250
Teor de betume, % mínima em peso	DNER-ME 010	97
Ductibilidade a 25°C, 5 cm/minuto, cm, mínimo	DNER-ME 163	40

Existem também problemas ambientais que materiais como solventes provocam. As emissões de solventes contidos em asfaltos recortados ou emulsões são um fator prejudicial ao meio ambiente. MOULTHROP et. al. (1997) afirmam que os asfaltos recortados são responsáveis por emissões de hidrocarbonetos em grande escala. Ainda segundo estes autores, no futuro, asfaltos recortados e até mesmo emulsões asfálticas contendo solventes serão proibidos devido as emissões excessivas de solventes.

CAPÍTULO 8

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

8.1. PLANEJAMENTO DA PESQUISA EXPERIMENTAL

Os ensaios realizados neste trabalho tiveram por objetivo avaliar o comportamento das misturas de areia-asfalto a frio, principalmente quanto ao efeito da umidade perdida antes da compactação. A perda de umidade das misturas antes da compactação foi obtida através de processo de cura à temperatura ambiente e o controle feito por pesagem ao longo do tempo.

8.1.1 Dosagem das misturas

A dosagem das misturas foi orientada através da norma do DNER-ME 107/94 e através de um procedimento modificado com relação à cura antes da compactação dos corpos-de-prova. Nesta fase foram usadas misturas sem *filler*, na dosagem normalizada pelo DNER. Na dosagem com modificação na cura foram usadas misturas sem *filler*, com *filler* britado e com *filler* de cimento *Portland*.

O objetivo de utilizar misturas com *filler* britado e com *filler* de cimento *Portland* na dosagem com modificação na cura foi para avaliar se havia melhora no desempenho das mesmas com relação à densidade, ao volume de vazios e à estabilidade *Marshall*. Além disso, foi avaliada também a influência dos materiais usados como *filler* na perda de umidade das misturas.

A avaliação da influência dos materiais usados como *filler* sobre a perda de umidade das misturas foi feita através de um processo onde as misturas ficaram curando à temperatura ambiente (temperatura média de 24,4°C) e tinham sua perda de umidade controlada através de pesagens em intervalos de tempo constantes. Desse modo, puderam ser feitas comparações entre as misturas e analisar o efeito que cada tipo de *filler* exercia.

8.1.2. Ensaios de caracterização das misturas em função da perda de umidade

Após as dosagens das misturas e tendo sido estimados os teores ótimos de asfalto residual, foram realizados ensaios *Marshall* que poderiam avaliar o comportamento para um mesmo teor de asfalto (teor ótimo de asfalto residual) e para diferentes percentuais de perda de umidade antes da compactação.

Estes ensaios tinham como objetivo determinar qual o percentual ótimo de umidade perdida antes da compactação de cada mistura. Desse modo, teríamos ao final dos ensaios características das misturas em função do teor ótimo de asfalto residual e da percentagem ótima de umidade antes da compactação.

8.1.3. Ensaio de fluência por compressão uniaxial estática

Foi utilizado o ensaio de fluência por compressão uniaxial estática para avaliar o comportamento das misturas de areia-asfalto a frio em relação à resistência às deformações permanentes. Este ensaio foi realizado numa prensa de adensamento de solos e foram usados corpos-de-prova obtidos através de compactação no equipamento *Marshall*.

A tensão de ensaio inicial era de 0,1 MPa para todas as misturas. Ocorrendo a ruptura dos corpos-de-prova ou se fosse possível aumentar o nível de tensão eram feitos alguns testes para determinar qual seria a melhor tensão de ensaio a ser utilizada.

Na Figura 8.1 tem-se um esquema completo do procedimento experimental utilizado neste trabalho.

Figura 8.1 – Esquema do procedimento experimental.

8.2. PREPARO E MANUSEIO DOS MATERIAIS UTILIZADOS

8.2.1. Materiais granulares

A preparação inicial da areia consistiu de secagem em estufa a 100° C e limpeza para retirar restos de material orgânico. Em seguida, foi iniciado o peneiramento a seco, nas porções correspondentes às peneiras que faziam parte da faixa granulométrica usada no trabalho. Depois os agregados foram pesados e remisturados de acordo com a distribuição granulométrica a ser usada nas misturas.

O material pesado e remisturado ficou acondicionado em sacos plásticos até antes da mistura com a emulsão asfáltica. O agregado foi separado, primeiramente, em amostras de 1200 gramas que geraram corpos-de-prova muito altos na primeira moldagem. Após alguns testes determinou-se que 1000 gramas de material granular seria suficiente à confecção de cada corpo-de-prova.

8.2.2. Emulsão asfáltica

A emulsão asfáltica ficou armazenada num único tambor de 200 litros. Foram utilizados, aproximadamente, 50 litros de emulsão (coletados de duas vezes em latas de 20 litros, num total de 3 latas) para o preparo de todas as misturas. A maior preocupação com este material era evitar a sedimentação da emulsão. Para isso era realizada a agitação manual do tambor pelo menos uma vez ao dia. A validade do material estabelecida pelo fabricante, era de 3 meses.

8.2.3. Preparo das misturas

Cada mistura era preparada seguindo-se o roteiro abaixo:

- Era feita a molhagem dos agregados com 30 ml de água. Após 15 minutos da molhagem dos agregados era feita a mistura manual com a emulsão asfáltica;

- Feita a mistura manual a massa de emulsão-agregado era despejada e espalhada numa bandeja. Formando um camada de aproximadamente 3 cm de espessura;
- As misturas eram compactadas de acordo com a perda de umidade necessária para compactação.

8.3. ENSAIO DE CONTROLE DA PERDA DE UMIDADE DAS MISTURAS

Este ensaio teve como objetivo avaliar o comportamento das misturas com relação à cura antes da compactação, bem como, obter as curvas de perda de umidade ao longo do tempo. O ensaio foi realizado nas misturas sem *filler*, com *filler* britado e com *filler* de cimento.

Nas misturas com *filler* foram usados três percentuais deste material: 1%; 3% e 5%. Pretendia-se avaliar a influência do material de enchimento no processo de perda de umidade. Na Tabela 8.1 tem-se a distribuição das misturas em função dos teores de *filler* e de asfalto residual utilizados.

Tabela 8.1 – Misturas, número de amostras e suas respectivas percentagens de asfalto residual.

TIPO DE MISTURA	NÚMERO DE AMOSTRAS	PERCENTAGENS DE ASFALTO
Mistura sem filler	3	5,8%
Mistura com 1% de filler britado	3	6,1%
Mistura com 3% de filler britado	3	6,5%
Mistura com 5% de filler britado	3	6,8%
Mistura com 1% de filler cimento	3	6,1%
Mistura com 3% de filler cimento	3	6,5%
Mistura com 5% de filler cimento	3	6,8%

O ensaio de controle da perda de umidade foi realizado na percentagem inicial de asfalto residual. Foram feitas três amostras para cada tipo de mistura e os resultados representados pela média aritmética. O ensaio consistiu na mistura do agregado com a emulsão asfáltica e na cura das misturas à temperatura ambiente (temperatura média de 24,4°C). Durante o período de cura as misturas eram pesadas de hora em hora, nas primeiras 12 horas. A partir deste período foram feitas pesagens regulares a cada seis horas.

8.4. DOSAGENS DAS MISTURAS

O primeiro procedimento de dosagem foi realizado conforme o método do DNER-ME 107/94. De acordo com SANTANA (1993), no Brasil, praticamente só se usa o método de dosagem *Marshall* normalizado pelo DNER, o qual deverá precisar o teor de asfalto residual e consequentemente o teor de emulsão asfáltica. A dosagem modificada, com relação à cura antes da compactação, foi baseada no estudo apresentado por J. Lopes e F. Kasuga (1976)⁴ que tem como uma de suas características o critério de umidade ótima para compactação das misturas.

8.4.1. Dosagem *Marshall* pelo método do DNER/ME 107/94

A dosagem obtida por este método foi denominada “normalizada”. O primeiro passo é definir uma faixa de teores de asfalto residual, de onde será extraída o teor ótimo de asfalto. O procedimento para estimar esta faixa de teores foi feito segundo o método da superfície específica que é determinada através da fórmula de *Vogt*, conforme a eq. (1), a qual é uma adaptação da primeira fórmula de *Duriez*. Para determinação do teor inicial da faixa de asfalto residual foi usada a segunda fórmula de *Duriez*, de acordo com a eq. (2).

$$100\Sigma = 0,07P_4 + 0,14P_3 + 0,33P_2 + 0,81P_1 + 2,7S_3 + 9,15S_2 + 21,9S_1 + 135F(m^2 / kg) \quad (1)$$

Onde:

P_4 - fração entre as peneiras 50 – 25 mm (2” – 1”);

P_3 - fração entre as peneiras 25 – 12,5 mm (1” – 1/2”);

P_2 - fração entre as peneiras 12,5 – 4,76 mm (1/2” – nº 4);

P_1 - fração entre as peneiras 4,76 – 2,00 mm (nº 4 – nº 10);

S_3 - fração entre as peneiras 2,00 – 0,42 mm (nº 10 – nº 40);

S_2 - fração entre as peneiras 0,42 – 0,177 mm (nº 40 – nº 80);

S_1 - fração entre as peneiras 0,177 – 0,074 mm (nº 80 – nº 200);

F - fração passando na peneira 0,074 mm (nº 200).

⁴ J. LOPES & KASUGA (1976). *Misturas tratadas com emulsões*. 1º Encontro de Asfalto – IBP, Rio de Janeiro.

$$Tca = k \times \Sigma^{1/5} \quad (2)$$

Onde:

Tca - Teor provável de asfalto residual, em relação ao peso de agregados da mistura (%);

k - Módulo de riqueza;

Σ - Superfície específica (m^2/kg).

Após a determinação do teor provável de asfalto residual (Tca) pela eq. (2), que foi estimado em 6,4%, foi realizada a correção deste teor em função da densidade do agregado mineral, usando a eq. (3). Feita a correção obteve-se o valor de 6,5% para o teor provável de asfalto residual corrigido ($T'ca$), o qual foi estimado em relação ao peso total da mistura (Pca), através da eq. (4), em 6,1%.

$$T'ca = 2,65 \times \frac{Tca}{Dagr} \quad (3)$$

Onde:

$T'ca$ - Teor provável de asfalto residual corrigido em função da densidade do agregado mineral (%);

Tca - Teor provável de asfalto residual, em relação ao peso de agregados da mistura (%);

$Dagr$ - Densidade do agregado mineral (g/cm^3).

$$Pca = \frac{(100 \times T'ca)}{(100 + T'ca)} \quad (4)$$

Onde:

Pca - Percentagem de asfalto residual em relação a mistura (%);

$T'ca$ - Teor provável de asfalto residual corrigido em função da densidade do agregado mineral (%);

Estimada a percentagem de asfalto residual, em relação ao peso total da mistura (Pca), foi estipulada uma faixa de teores para efeito de dosagem que compreendeu os seguintes valores: 4,6%; 5,1%; 5,6%; **6,1%**; 6,6% e 7,1%. Além disso, foram

determinadas as massas de emulsão asfáltica em função das massas de asfalto residual e do resíduo asfáltico da emulsão conforme a Tabela 8.2.

Tabela 8.2 – Massas de emulsão asfáltica em função das massas de asfalto residual e do resíduo asfáltico da emulsão.

% ASFALTO	% AGREGADO	NÚMERO DE CORPOS DE PROVA	MASSA DE ASFALTO RESIDUAL (g)	MASSA DE EMULSÃO (g)
4,6	95,4	3	48,22	81,73
5,1	94,9	3	53,74	91,08
5,6	94,4	3	59,32	100,54
6,1	93,9	3	64,96	110,10
6,6	93,4	3	70,66	119,76
7,1	92,9	3	76,43	129,54

Para cada teor de asfalto da faixa estudada foram moldados 3 (três) corpos-de-prova, totalizando nesta primeira dosagem 18 amostras. O processo de moldagem foi realizado de acordo com a sequência abaixo:

- Molhagem mediante a incorporação de 30g de água aos agregados correspondentes a cada corpo-de-prova, sendo a molhagem feita aproximadamente 15 minutos antes da mistura com a emulsão;
- Mistura da emulsão asfáltica com o agregado;
- Após a mistura da última amostra, iniciou-se o processo de compactação da primeira amostra e assim sucessivamente;
- Os corpos-de-prova eram compactados com 75 golpes por face;
- Terminada a compactação dos corpos-de-prova, os cilindros eram colocados numa estufa ventilada a 60°C por 24 horas. Depois eram retirados e 4 horas após sacados dos cilindros;
- Depois de dois dias de cura à temperatura ambiente eram determinados os valores de massa ao ar e massa imersa;
- Determinados os valores mencionados anteriormente calculava-se a densidade aparente, o volume de vazios, a relação betume vazios, etc;
- Para determinar os valores de estabilidade e fluência *Marshall* os corpos-de-prova eram colocados numa estufa, por aproximadamente 2 horas antes do ensaio, a 40°C e então eram rompidos.

8.4.2. Dosagens modificadas

Durante a realização da dosagem recomendada pelo DNER (ME 107/94) constatou-se que o processo de compactação das misturas era muito trabalhoso. As misturas estavam saturadas de água (água da emulsão + água de molhagem do agregado), o que dificultava o processo e causava danos à mistura compactada. Quando o soquete de compactação era retirado do cilindro de moldagem, uma parte do corpo-de-prova, geralmente, ficava presa na base do soquete. Além desses problemas, os resultados obtidos no ensaio *Marshall*, na dosagem normalizada, eram muito baixos (menores que 152 kgf).

Sendo assim, decidiu-se trabalhar também com mais dois tipos de misturas, além da mistura sem *filler*, optando-se por mistura com *filler* de pedregulho britado e com *filler* de cimento *Portland*. A adição de *filler* foi motivada pela possível melhoria que este material poderia trazer aos resultados do ensaio *Marshall*.

A principal modificação em relação à dosagem normalizada pelo DNER estava na consideração de um percentual ótimo de umidade perdida para a compactação das misturas, que segundo J. Lopes e F. Kasuga (1976), corresponderia à aproximadamente 50% do total de água existente nas misturas. Pode-se entender como água total presente na mistura a água contida na emulsão asfáltica e a água usada para molhagem do agregado. A Tabela 8.3 contém valores teóricos de água de molhagem e água contida na emulsão asfáltica RL 1C.

Tabela 8.3 – água de molhagem, água da emulsão asfáltica e água total para misturas sem filler.

ASFALTO %	MASSA DE EMULSÃO (g)	Hm – ÁGUA DE MOLHAGEM (ml ou g)	Hea – ÁGUA DA EMULSÃO ASFÁLTICA (g)	Ht – ÁGUA TOTAL DA MISTURA (g)
4,8	86	30	35	65
5,3	96	30	39	69
5,8	105	30	43	73
6,3	115	30	47	77
6,8	124	30	51	81
7,3	134	30	55	85
7,8	144	30	59	89
8,3	154	30	63	93
8,8	164	30	67	97
9,3	175	30	72	102

A faixa de teores iniciais para estas dosagens foi estimada da mesma forma que na dosagem normalizada. O número de teores de asfalto, 10 (dez), é justificado por ser uma faixa ampla e assim poder-se-ia ter uma noção da influência do teor de asfalto sobre os parâmetros do ensaio *Marshall*. Na Tabela 8.4 estão contidos os valores de *Tca*, *T'ca*, *Pca* e a faixa de teores de asfalto de cada mistura.

Tabela 8.4 – *Tca*, *T'ca*, *Pca* e a faixa de teores de cada mistura.

MISTURAS	Σ (m ² /kg)	<i>Tca</i> (%)	<i>T'ca</i> (%)	<i>Pca</i> (%)	FAIXA DE TEORES (%)
Mistura sem filler	4,723	6,1	6,2	5,8	4,8; 5,3; 5,8; 6,3; 6,8; 7,3; 7,8; 8,3; 8,8 e 9,3
Mistura com filler britado (5% de filler)	10,738	7,2	7,3	7,8	5,8; 6,3; 6,8; 7,3; 7,8; 8,3; 8,8; 9,3; 9,8 e 10,3
Mistura com filler cimento (5% de filler)	10,738	7,2	7,3	7,8	5,8; 6,3; 6,8; 7,3; 7,8; 8,3; 8,8; 9,3; 9,8 e 10,3

A utilização de um percentual de 5% de *filler* foi motivada pelo fato deste material não causar influência na perda de umidade das misturas, que pode ser comprovada através do ensaio de controle da perda de umidade.

Para cada percentagem de asfalto da faixa de estudo foram moldados 3 (três) corpos-de-prova, totalizando para cada dosagem 30 corpos-de-prova. O processo de moldagem foi realizado de acordo com a sequência abaixo e em duas etapas, sendo que em cada etapa eram moldados 15 corpos-de-prova:

- Molhagem de todas as amostras de agregado aproximadamente 15 minutos antes da mistura com a emulsão;
- Mistura da emulsão asfáltica com o agregado;
- A cada 6 (seis) misturas era realizado o controle da perda de umidade, ou seja, as misturas eram pesadas e subtraídos os pesos das respectivas bandejas para obter-se apenas a massa da mistura;
- O controle de cura das misturas foi realizado por um período de 24 a 26 horas, o qual era suficiente para que as misturas atingissem um percentual de umidade perdida para a compactação em torno de 50% da umidade total. Em seguida os corpos-de-prova eram compactados com 75 golpes por face;

- Após a compactação os corpos-de-prova ficavam numa estufa ventilada a 60°C por 24 horas, quando então eram retirados e aproximadamente 4 horas depois sacados dos cilindros de moldagem;
- Depois de dois dias de cura à temperatura ambiente eram determinados os valores de massa ao ar e massa imersa;
- Determinados os valores mencionados anteriormente calculava-se a densidade aparente, o volume de vazios, a relação betume vazios, etc;
- Para determinar os valores de estabilidade e fluência *Marshall* os corpos-de-prova eram colocados numa estufa, por aproximadamente 2 horas antes do ensaio, a 40°C e então eram rompidos (DNER-ME 107/94).

Com a utilização do processo de cura antes da compactação das misturas foi possível constatar melhorias na confecção dos corpos-de-prova. As misturas compactadas apresentavam-se mais uniformes, não havia resíduo na base do soquete de compactação e nem exsudação de emulsão para fora do cilindro de moldagem.

8.5. ENSAIO MARSHALL NO TEOR ÓTIMO DE ASFALTO RESIDUAL PARA CADA MISTURA E VARIAÇÃO NA PERDA DE UMIDADE DAS MISTURAS PARA A COMPACTAÇÃO

Este ensaio teve como objetivo determinar qual seria o percentual ótimo de umidade perdida para a compactação das misturas. Foram estipulados 5 (cinco) percentuais de umidade perdida: 10%; 30%; 50%; 70% e 90%. Para cada teor de umidade perdida foram feitas 3 amostra por tipo de mistura, totalizando assim 45 corpos-de-prova. A seguir é apresentada a seqüência do ensaio:

- Realizou-se a mistura agregado-emulsão no teor ótimo de asfalto residual determinado para cada mistura;
- Em seguida as misturas eram armazenadas em bandejas e logo após eram pesadas para obter-se a massa do conjunto mistura-bandeja e depois somente a massa da mistura. As misturas ficavam curando à temperatura ambiente;

- As pesagens eram realizadas de hora em hora e com isso calculava-se a percentagem de umidade perdida das misturas. Quando a percentagem de umidade perdida atingia o valor especificado, realizava-se a compactação;
- A compactação dos corpos-de-prova foi feita de acordo com os procedimentos usados para a dosagem *Marshall* das misturas.

8.6. ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA NO TEOR ÓTIMO DE ASFALTO RESIDUAL E PERCENTUAL ÓTIMO DE UMIDADE PERDIDA PARA A COMPACTAÇÃO DAS MISTURAS

Este ensaio teve como objetivo avaliar o comportamento das misturas nas condições de teor ótimo de asfalto residual e percentual ótimo de umidade perdida para a compactação. A primeira preocupação foi determinar se a tensão de 1kgf/cm^2 poderia ser utilizada para todas as misturas. Para isso foram feitos alguns testes e constatou-se que para as misturas sem *filler* e com *filler* britado os níveis de tensões a serem usados deveriam ser muito abaixo da tensão mencionada anteriormente. Porém, para as misturas com *filler* de cimento poderia ser usada uma tensão de ensaio relativamente maior. Na Tabela 8.5 estão contidas as características das misturas ensaiadas.

Tabela 8.5 – Características das misturas usadas no ensaio de fluência por compressão uniaxial estática.

TIPO DE MISTURA	TEOR DE ASFALTO RESIDUAL (%)	UMIDADE PERDIDA (%)	Nº DE CORPOS-DE-PROVA
Sem Filler	6,5	46	8
Filler de Cimento	7,5	22	8
Filler Britado	8,5	43	8

A seguir é apresentada a sequência utilizada para realização deste ensaio:

- Depois de dois dias de cura à temperatura ambiente, os corpos-de-prova eram medidos para obtenção da altura e diâmetro, bem como, pesados ao ar e imersos. Em seguida ficavam numa estufa a 40°C , por aproximadamente 12 horas, para então serem ensaiados;

- O compartimento onde encontrava-se a prensa de ensaio (prensa de adensamento de solos) estava com a temperatura controlada em aproximadamente 40°C, os corpos-de-prova eram retirados da estufa, tinham suas bases lubrificadas e colocados diretamente na base de aplicação de carga;
- O controle da temperatura, no compartimento da prensa, foi realizado através de resistências elétricas que tinham o seu calor dissipado através de um circulador de ar localizado dentro do compartimento;
- Antes do ensaio era realizado um condicionamento prévio, que consistia de 2 minutos de aplicação de carga, seguidos de 5 minutos de recuperação;
- Após o condicionamento prévio os ensaios foram realizados dentro das condições a seguir:
 - Tempo de ensaio de 60 minutos de aplicação de carga constante e 15 minutos de recuperação (sem carga);
 - Leituras das deformações axiais através de um extensômetro com cursor de 10 mm e precisão de centésimo de milímetros;
 - As leituras eram realizadas em intervalos de 30 segundos nos primeiros 5 minutos, a cada 1 minuto nos 30 minutos seguintes e a cada 5 minutos até o final do ensaio, completando 60 minutos de aplicação de carga;
 - Após 60 minutos houve a retirada completa da carga de ensaio. As deformações passaram a ser medidas em intervalos de 30 segundos por 5 minutos e a cada 1 minuto até o final do ensaio, completando os 15 minutos de recuperação.

CAPÍTULO 9

RESULTADOS OBTIDOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas diversas etapas do procedimento experimental.

9.1. ENSAIO DE RESÍDUO ASFÁLTICO DAS EMULSÕES

Este ensaio foi realizado para os dois lotes de emulsão asfáltica utilizados. Primeiramente, foram usados 40 litros de emulsão sendo considerado um prazo de validade de 3 meses, recomendado pelo fabricante. Quando deu-se o vencimento do primeiro lote de emulsão foi realizada nova coleta (20 litros). Este ensaio foi realizado em três amostras de cada lote de emulsão asfáltica e como resultado tem-se a média aritmética das amostras. Na Tabela 9.1 estão contidos os resultados deste ensaio.

Tabela 9.1 – Resultados dos ensaios de resíduo asfáltico.

LOTE DE EMULSÃO	DATA DO ENSAIO	PRAZO DE VALIDADE	RESÍDUO ASFÁLTICO (%)
Lote 1 – 40 litros	27/09/1999	09/12/1999	59
Lote 2 – 20 litros	14/02/2000	09/05/2000	61

Segundo a especificação de material do DNER-EM 369/97 a percentagem mínima de resíduo asfáltico em peso deveria ser de 60%. Apesar do primeiro lote ter percentagem de resíduo ligeiramente inferior ao recomendado, concluiu-se que não haveria maiores problemas em relação ao seu uso. Já o segundo lote apresentou resíduo asfáltico de acordo com o recomendado pela referida norma.

9.2. ENSAIOS DE CONTROLE DA PERDA DE UMIDADE DAS MISTURAS

Este ensaio teve como objetivo avaliar o comportamento das misturas quanto à perda de umidade ao longo do tempo e obter os gráficos da perda de umidade para cada tipo de mistura.

A maior preocupação do ensaio era determinar se havia um mesmo padrão de perda de umidade para todas as misturas ensaiadas, principalmente nas misturas com *filler* de cimento. O cimento poderia influenciar demasiadamente no tempo de cura, bem como, alterar o comportamento das misturas durante a cura.

9.2.1. Resultado das misturas sem *filler*

O gráfico da perda de umidade dessas misturas é mostrado na Figura 9.1. Foram feitas três amostras das misturas sem *filler* e o resultado foi obtido da média aritmética dessas amostras.

Figura 9.1. Perda de umidade das misturas sem *filler*

Através do gráfico apresentado na Figura 9.1 pode-se observar que a perda de umidade no início do ensaio, primeiras 12 horas, é mais acentuada e a partir desse período vai diminuindo até ficar praticamente constante.

9.2.2. Misturas com *filler* britado

Nas misturas com *filler* britado foram utilizados três teores de *filler* (1%, 3% e 5%) com a intenção de avaliar se o aumento do teor deste material poderia ter influência na perda de umidade. Porém, de acordo com a Figura 9.2 verificou-se que o aumento do teor de *filler* trouxe pouca variação à perda de umidade.

Figura 9.2 – Perda de umidade das misturas com *filler* britado.

9.2.3. Misturas com *filler* de cimento

As misturas feitas com *filler* de cimento *Portland* também foram ensaiadas com três teores de *filler* (1%, 3% e 5%) para avaliar o comportamento das misturas em relação ao tempo de cura necessário para perda total da umidade e se havia mudança brusca no tempo de perda de umidade.

A utilização do *filler* ativo poderia trazer algumas mudanças, como por exemplo: a retenção de água nas misturas para a hidratação e reações físico-químicas do cimento; a ruptura prematura das misturas e as características das misturas ao final do ensaio poderiam ser alteradas. Na Figura 9.3 pode-se observar o gráfico da perda de umidade das misturas com *filler* de cimento.

Figura 9.3 – Perda de umidade das misturas com *filler* de cimento.

De acordo com o gráfico da Figura 9.3 não houve modificação acentuada no tempo total de perda de umidade das misturas com *filler* de cimento. Porém, houve uma percentagem de umidade retida um pouco maior do que nas misturas sem *filler* ou com *filler* britado.

Na Figura 9.4 tem-se um comparativo da perda de umidade para misturas sem *filler*, com 5% de *filler* britado e 5% de *filler* de cimento. Observa-se que a presença do *filler* não trouxe muita influência à perda de umidade das misturas.

Figura 9.4 – Comparativo da perda de umidade das misturas ensaiadas.

Como a presença do *filler* britado e do *filler* de cimento influenciou pouco na perda de umidade das misturas foi decidido que poderia ser usada a maior percentagem de *filler*, ou seja, 5% de *filler* britado e 5% de *filler* de cimento *Portland*.

De modo geral o ensaio de controle da perda de umidade foi satisfatório à avaliação das misturas, principalmente com relação às misturas de *filler* de cimento. Estas misturas apresentavam-se muito mais secas ao final do ensaio e havia a formação de grãos rígidos devido ao endurecimento do cimento. Estes grãos poderiam dificultar a compactação das misturas e o revolvimento era mais trabalhoso.

As misturas sem *filler* e com *filler* britado tinham aspecto mais brilhante e eram mais fáceis de serem revolvidas. Havia também a formação de grãos, porém estes podiam ser facilmente desfeitos com uma espátula.

9.3. DOSAGENS MARSHALL DAS MISTURAS

9.3.1. Dosagem *Marshall* normalizada (DNER-ME 107/94)

(Sem Cura Antes da Compactação)

O procedimento realizado para este ensaio seguiu a norma do DNER-ME 107/94 e com relação à cura antes da compactação das misturas para emulsões asfáltica do tipo RL – 1C foi seguida a recomendação da norma mencionada. A Tabela 9.2 e a Figura 9.5 contém os resultados obtidos nesta dosagem.

Tabela 9.2 – Resultados da dosagem *Marshall* de acordo com a Norma do DNER-ME 107/94.

ASFALTO (%)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	VOLUME DE VAZIOS (%)	RBV (%)	ESTABILIDADE (kgf)	FLUÊNCIA (0,01")
4,6	1,954	20,15	30,37	151	10
5,1	1,956	19,50	33,35	121	13
5,6	1,939	19,60	35,17	124	14
6,1	1,946	18,75	38,26	151	14
6,6	1,926	18,98	39,60	117	13
7,1	1,901	19,48	40,41	98	14

A principal dificuldade neste procedimento de ensaio foi com relação à compactação dos corpos-de-prova, pois as misturas de emulsão-agregado apresentavam-se saturadas de emulsão. O processo de compactação por impacto gerava expulsão de material asfáltico dos cilindros de moldagem. No momento de compactar a outra face do corpo-de-prova, geralmente perdia-se parte do corpo-de-prova e ao final da compactação ocorria novamente perda de material que ficava preso na base soquete de compactação.

Os valores de estabilidade *Marshall*, volume de vazios e RBV foram considerados muito ruins mesmo para misturas do tipo areia-asfalto a frio e evidenciavam uma mistura possivelmente instável. Os corpos-de-prova quando sacados dos cilindros de moldagem apresentavam-se muito úmidos e ao contato com as mãos podiam ser esmagados.

Figura 9.5 - Resultados da dosagem Marshall normalizada

9.3.2. Dosagens modificadas

A principal modificação no procedimento destas dosagem é referente ao processo de cura antes da compactação das misturas e estipulou-se que a percentagem de umidade perdida antes da compactação seria de 50%. Este percentual foi obtido entre 10 a 12 horas de cura à temperatura ambiente para cada mistura (temperatura média de 24,4°C).

a) Resultados das misturas sem *filler*

A percentagem de umidade perdida para a compactação das misturas sem *filler* foi de aproximadamente 55%. Foram estipulados dez teores de asfalto residual para esta dosagem com o objetivo de obter uma ampla faixa de estudo e determinar alguma tendência nos parâmetros do ensaio *Marshall*.

Na Tabela 9.3 e Figura 9.6 estão contidos os resultados da dosagem modificada para misturas sem *filler*.

Tabela 9.3 – Resultados da dosagem *Marshall* Modificada para misturas sem *filler*.

ASFALTO (%)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	VOLUME DE VAZIOS (%)	RBV (%)	ESTABILIDADE (kgf)	FLUÊNCIA (0,01")
4,8	1,835	24,73	26,08	178	13
5,3	1,859	23,19	29,60	226	13
5,8	1,862	22,49	32,19	250	13
6,3	1,933	18,99	38,86	584	13
6,8	1,955	17,44	43,03	555	13
7,3	1,918	18,44	42,86	158	14
7,8	1,933	17,23	46,34	176	15
8,3	1,939	16,41	49,18	205	17
8,8	1,955	15,12	52,89	184	16
9,3	1,961	14,27	55,76	169	16

Os valores de densidade aparente e fluência das misturas sem *filler* apresentaram pouca diferença em relação aos valores da dosagem normalizada pelo DNER. Porém, com relação aos valores de volume de vazios, RBV e estabilidade *Marshall* houve uma melhora considerável, principalmente com relação à estabilidade, que na dosagem normalizada pelo DNER não atingia valores superiores a 200 kgf.

Figura 9.6 - Resultados da dosagem *Marshall* modificada misturas sem *filler*

As misturas ao serem compactadas já não possuíam excesso de água e com isso não ocorria perda de material no momento da compactação. Os corpos-de-prova apresentavam-se com formato mais regulares e aparentemente mais resistentes ao manuseio. Para as misturas sem *filler* foi considerado como teor ótimo de asfalto residual o valor de 6,5%.

b) Resultados das misturas com *filler* britado

As misturas com *filler* britado foram compactadas com um percentual de umidade perdida de aproximadamente 55%. Este percentual foi alcançado com aproximadamente 24 horas de cura à temperatura ambiente. Na Tabela 9.4 e Figura 9.7 encontram-se os resultados da dosagem *Marshall* modificada para as misturas com *filler* britado.

Tabela 9.4 – Resultados da dosagem *Marshall* Modificada para misturas com *filler* britado.

ASFALTO (%)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	VOLUME DE VAZIOS (%)	RBV (%)	ESTABILIDADE (kgf)	FLUÊNCIA (0,01")
5,8	1,892	21	33	295	14
6,3	1,889	21	36	375	15
6,8	1,895	20	39	428	17
7,3	1,924	18	43	336	16
7,8	1,945	17	47	488	16
8,3	2,018	13	56	534	13
8,8	2,057	11	62	458	12
9,3	2,057	10	65	441	15
9,8	2,070	9	69	294	16
10,3	2,045	9	69	293	17

A dosagem das misturas com *filler* britado apresentou resultados ligeiramente superiores aos da dosagem normalizada e modificada para misturas sem *filler*. A densidade aparente das misturas superou 2,000 g/cm³. Os valores de RBV e estabilidade *Marshall* foram considerados bons se comparados com os obtidos na dosagem *Marshall* normalizada. O teor ótimo de asfalto residual foi estipulado em 8,5%.

Figura 9.7 - Resultados da dosagem *Marshall* modificada misturas com *filler* britado

c) Resultados das misturas com *filler* de cimento

As misturas com *filler* de cimento *Portland* foram compactadas com percentual de umidade perdida de 47%. Na Tabela 9.5 e Figura 9.8 são apresentados os valores da dosagem *Marshall* modificada para estas misturas.

Tabela 9.5 – Resultados da dosagem *Marshall* Modificada para misturas com *filler* de cimento.

ASFALTO (%)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)	VOLUME DE VAZIOS (%)	RBV (%)	ESTABILIDADE (kgf)	FLUÊNCIA (0,01")
5,8	1,855	22,88	31,46	557	9
6,3	1,876	21,43	35,02	654	10
6,8	1,894	20,12	38,49	579	9
7,3	1,916	18,63	42,35	808	10
7,8	1,923	17,72	45,31	730	10
8,3	1,882	18,92	44,69	397	9
8,8	1,911	17,10	49,06	378	10
9,3	1,921	16,09	52,07	398	11
9,8	1,913	15,84	53,68	389	11
10,3	1,945	13,86	58,63	340	10

Os valores de estabilidade *Marshall* para as misturas com *filler* de cimento *Portland* foram considerados os melhores dentre as misturas. Acredita-se que estes resultados de estabilidade foram conseguidos devido à presença do cimento *Portland*, que deu às misturas maior resistência inicial, pois o rompimento dos corpos-de-prova era realizado com dois dias de cura fora do cilindro de moldagem. Foi considerado como teor ótimo de asfalto residual o valor de 7,5%.

9.4. ENSAIO *MARSHALL* NO TEOR ÓTIMO DE ASFALTO RESIDUAL E VARIAÇÃO NA PERDA DE UMIDADE DAS MISTURAS

Foram estipulados 5 percentuais de umidade perdida para a compactação das misturas: 10%, 30%, 50%, 70% e 90% e usadas três amostras para cada teor.

9.4.1. Resultados das misturas sem *filler*

Na Tabela 9.6 são apresentados os resultados dos parâmetros *Marshall* para estas misturas.

Figura 9.8 - Resultados da dosagem *Marshall* modificada misturas com *filler* de cimento

Tabela 9.6 – Ensaio *Marshall* das misturas sem *filler* no teor ótimo de asfalto residual e variação na perda de umidade para compactação.

ASFALTO (%)	UMIDADE PERDIDA (%)	DENS. APARENTE (g/cm ³)	VOL. DE VAZIOS (%)	RBV (%)	ESTABILIDADE MARSHALL (kgf)	FLUÊNCIA (0,01")
6,5	10%	1,989	16,42	43,61	473	15
6,5	30%	1,997	16,09	44,21	323	16
6,5	50%	1,978	16,88	42,80	388	12
6,5	70%	1,884	20,83	36,61	234	15
6,5	90%	1,751	26,44	29,72	152	22

Pelos valores contidos na Tabela 9.6 pode-se observar que as misturas sem *filler* apresentaram os melhores resultados nos teores de umidade perdida de 10%, 30% e 50%. Sendo que no teor de umidade igual a 10%, obteve-se o maior valor de estabilidade. O percentual de umidade perdida de 10% foi obtido com um tempo de cura de aproximadamente 4 horas.

Os corpos-de-prova confeccionados com 10% de umidade perdida apresentavam formato irregular, houve perda de material durante a compactação e ocorreu exsudação de emulsão pela base do cilindro de moldagem. A partir do percentual de 30% de umidade perdida as misturas puderam ser compactadas sem problemas de perda de material ou exsudação de emulsão. Sendo assim, foi estipulado como percentual ótimo de umidade perdida para a compactação o valor de 40%.

9.4.2. Resultados das misturas com *filler* britado

Na Tabela 9.7 estão contidos os valores dos parâmetros do ensaio *Marshall* para as misturas com *filler* britado.

Tabela 9.7 – Ensaio *Marshall* das misturas com *filler* britado no teor ótimo de asfalto residual e variação na perda de umidade para compactação.

ASFALTO (%)	UMIDADE PERDIDA (%)	DENS. APARENTE (g/cm ³)	VOL. DE VAZIOS (%)	RBV (%)	ESTABILIDADE MARSHALL (kgf)	FLUÊNCIA (0,01")
8,5	10%	1,973	14,71	52,84	244	18
8,5	30%	1,998	13,65	55,00	369	20
8,5	50%	2,013	13,01	56,37	423	13
8,5	70%	1,876	18,92	45,30	290	19
8,5	90%	1,758	24,03	37,93	173	31

As misturas preparadas com 5% de *filler* britado apresentaram um comportamento bem definido com relação à variação do percentual de umidade perdida para a compactação, pois no teor de 50% de umidade perdida foram obtidos os melhores resultados. Desse modo, foi considerado como percentual ótimo de umidade perdida o valor de 50%.

9.4.3. Resultados das misturas com *filler* de cimento

Na Tabela 9.8 são apresentados os valores do ensaio *Marshall* para as misturas com *filler* de cimento *Portland*.

Tabela 9.8 – Ensaio *Marshall* das misturas com *filler* de cimento *Portland* no teor ótimo de asfalto residual e variação na perda de umidade para compactação.

ASFALTO (%)	UMIDADE PERDIDA (%)	DENS. APARENTE (g/cm ³)	VOL. DE VAZIOS (%)	RBV (%)	ESTABILIDADE MARSHALL (kgf)	FLUÊNCIA (0,01")
7,5	10%	2,031	13,43	52,72	504	11
5,5	30%	1,930	17,73	44,51	447	7
7,5	50%	1,793	23,56	35,93	136	9
7,5	70%	1,622	30,87	27,91	61	19
7,5	90%	1,604	31,65	27,19	60	27

As misturas com 5% de *filler* de cimento *Portland* apresentaram um comportamento muito peculiar em função da variação da umidade perdida. Este comportamento pode ser claramente atribuído à presença do cimento nas misturas, pois o mesmo em contato com a água de molhagem do agregado e com a própria água da emulsão desencadeava uma série de características nas misturas, tais como: estavam visivelmente mais secas; aparentavam um tom fosco com poucas horas de cura e havia a formação de grãos rígidos com diâmetro bem maiores que o diâmetro máximo previsto na faixa granulométrica utilizada.

O processo de compactação das misturas com percentual de umidade perdida a partir de 50% era claramente prejudicado pela presença dos grãos, anteriormente mencionados. As misturas com percentual de umidade perdida de 70% e 90% estavam secas demais e a massa a ser compactada não cabia no cilindro de moldagem.

Nos corpos-de-prova compactados com percentual de umidade perdida de 10% ocorreu perda de material na retirada do soquete de compactação e exsudação de emulsão durante a moldagem. Sendo assim, optou-se pelo percentual de 20% de umidade perdida para a compactação. Na Figura 9.9 são apresentados os valores dos parâmetros *Marshall* para as misturas ensaiadas.

De acordo com a Figura 9.9 as misturas com *filler* de cimento *Portland* possuem uma variação brusca nos parâmetros do ensaio à medida que o percentual de umidade perdida aumenta de 10% para 50% e principalmente nos dois últimos valores. Com relação às misturas sem *filler* e com *filler* britado essa variação brusca só ocorre após o percentual de 50% e principalmente a partir de 70%.

9.5. ENSAIOS DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

A principal preocupação no início deste ensaio foi determinar se a tensão de 1kgf/cm^2 poderia ser usada para ensaiar todas as misturas. Após alguns ensaios com esta tensão verificou-se que as misturas sem *filler* e com *filler* britado rompiam durante o condicionamento prévio. Por outro lado, as misturas com *filler* de cimento resistiam perfeitamente ao ensaio com esta tensão. Desse modo, passou-se a investigar qual seria a melhor tensão para cada tipo de mistura.

Os testes de investigação da tensão adequada para cada mistura consistiam da realização do ensaio sob uma determinada tensão e o registro das deformações axiais ocorridas no corpo-de-prova. Era avaliado como ocorria o processo de deformação e principalmente se o corpo-de-prova resistia ao ensaio completo. Dos teste realizados com outros níveis de tensões chegou-se aos valores contidos na Tabela 9.9.

Figura 9.9 - Ensaio *Marshall* no teor ótimo de asfalto residual e variação na umidade perdida

Tabela 9.9 – Testes dos níveis de tensão para as misturas estudadas.

MISTURAS SEM <i>FILLER</i>		
CP's	TENSÃO USADA	COMPORTAMENTO
SFT 01	1,0 kgf/cm ²	Rompeu durante o condicionamento prévio
SFT 02	0,5 kgf/cm ²	Rompeu com 5 minutos de ensaio
SFT 03	0,3 kgf/cm ²	Rompeu com 30 minutos de ensaio
SFT 04	0,2 kgf/cm ²	Resistiu até o final do ensaio
MISTURAS COM <i>FILLER</i> BRITADO		
CP's	TENSÃO USADA	COMPORTAMENTO
FBT 01	1,0 kgf/cm ²	Rompeu durante o condicionamento prévio
FBT 02	0,5 kgf/cm ²	Rompeu com 22 minutos de ensaio
FBT 03	0,4 kgf/cm ²	Resistiu até o final do ensaio
MISTURAS COM <i>FILLER</i> DE CIMENTO PORTLAND		
CP's	TENSÃO USADA	COMPORTAMENTO
FCT 01	1,0 kgf/cm ²	Pouco deslocamento do extensômetro
FCT 02	4,0 kgf/cm ²	Rompeu com 7 minutos de ensaio
FCT 03	2,0 kgf/cm ²	Resistiu até o final do ensaio

Após os testes para verificação da tensão mais adequada para cada mistura obteve-se os seguintes resultados, conforme a Tabela 9.10.

Tabela 9.10 – Tensão de ensaio para cada tipo de mistura, carga média utilizada na prensa e número de CP's.

TIPO DE MISTURA	TENSÃO UTILIZADA Kgf/cm ²	CARGA DO ENSAIO (kg)	CP ENSAIADOS
Mistura sem <i>filler</i>	0,2 kgf/cm ²	1,442 kg	5 Unidades
Mistura com <i>filler</i> britado	0,4 kgf/cm ²	2,884 kg	5 Unidades
Mistura com <i>filler</i> de cimento	2,0 kgf/cm ²	14,351 kg	5 Unidades
Observação: Fator multiplicador de carga da prensa utilizada = 11,2			

9.5.1. Resultados do ensaio para misturas sem *filler*

As misturas sem *filler* foram ensaiadas com uma tensão de aproximadamente 0,2 kgf/cm². Na Figura 9.10 encontram-se as deformações axiais sofridas ao longo do tempo pelos corpos-de-prova ensaiados.

Mesmo para um nível de tensão muito baixo as misturas tiveram deformação total relativamente alta e após a retirada da tensão de ensaio apresentaram pouca recuperação, ou seja, o percentual de deformação elástica é pequeno para este tipo de mistura.

Figura 9.10 – Deformações axiais dos corpos-de-prova ensaiados para misturas sem *filler*.

Na Figura 9.11 é apresentado o gráfico com a média das deformações axiais para as misturas sem *filler*.

Figura 9.11 – Média das deformações axiais dos corpos-de-prova das misturas sem *filler*.

Na Tabela 9.11 estão as médias dos resultados obtidos nos ensaios para as misturas sem *filler*.

Tabela 9.11. Média dos parâmetros obtidos nos ensaio de fluência por compressão uniaxial estática para misturas sem *filler*.

MISTURAS SEM <i>FILLER</i>		
PARÂMETROS	TEMPO DE ENSAIO	RESULTADOS
Def _I (%)	60 minutos	0,455
Def _{vp} (%)	75 minutos	0,385
Def _{el} (%)	-	0,070
M _F (MPa)	-	5,332

9.5.2. Resultados do ensaio para misturas com *filler* britado

As misturas com *filler* britado foram ensaiadas com uma tensão de 0,4 kgf/cm². Na Figura 9.12 estão contidos os gráficos das deformações axiais das misturas.

Figura 9.12 – Deformações axiais para os corpos-de-prova das misturas com *filler* britado.

Os corpos-de-prova FB 14 e FB 15 tiveram um comportamento muito diferente dos demais, apresentando deformações relativamente altas e na fase final do ensaio tendendo à ruptura. Esta tendência foi constatada pela aparência dos corpos-de-prova após o término do ensaio, onde os mesmos apresentavam fissuras acentuadas e aumento considerável de diâmetro.

Na Tabela 9.12 estão os valores médios dos parâmetros obtidos no ensaio das misturas.

Tabela 9.12. Média dos parâmetros nos ensaios para misturas com *filler* britado.

MISTURAS COM <i>FILLER</i> BRITADO		
PARÂMETROS	TEMPO DE ENSAIO	RESULTADOS
Def _i (%)	60 minutos	1,088
Def _{vp} (%)	75 minutos	0,963
Def _{el} (%)	-	0,125
M _F (MPa)	-	7,078

Na Figura 9.13 está contido o gráfico com a média das deformações axiais das misturas com *filler* britado.

Figura 9.13 – Média das deformações axiais para misturas com *filler* britado.

9.5.3. Resultados do ensaio para misturas com *filler* de cimento *Portland*

As misturas feitas com *filler* de cimento *Portland* foram ensaiadas com uma tensão de 2,0 kgf/cm². Valor de tensão bem superior aos níveis de tensões usados nas misturas sem *filler* e com *filler* britado. Na Figura 9.14 são apresentados os gráficos das deformações axiais para os corpos-de-prova ensaiados.

Figura 9.14 – Deformações axiais dos corpos-de-prova ensaiados das misturas com *filler* de cimento.

As misturas com *filler* de cimento apresentaram um comportamento muito variado em relação às demais misturas. Este comportamento pode ser atribuído à presença do cimento *Portland*. A maior parcela de deformação recuperável ocorreu nas misturas com *filler* de cimento.

Os valores médios obtidos nos ensaios com os corpos-de-prova das misturas com *filler* de cimento *Portland* são apresentados na Tabela 9.13 e na Figura 9.15 está o gráfico de deformação axial média destas misturas.

Tabela 9.13. Média dos parâmetros para misturas com *filler* de cimento.

MISTURAS COM <i>FILLER</i> DE CIMENTO		
PARÂMETROS	TEMPO DE ENSAIO	RESULTADOS
Def _i (%)	60 minutos	0,255
Def _{vp} (%)	75 minutos	0,129
Def _{el} (%)	-	0,126
M _F (MPa)	-	256,31

Figura 9.15 - Média das deformações axiais para misturas com *filler* de cimento.

9.5.4. Comentários sobre os ensaios de fluência por compressão uniaxial estática

As misturas apresentaram deformações permanentes excessivas e contínuas durante os ensaios, apesar das pequenas tensões usadas, principalmente nas misturas sem *filler* e com *filler* britado. Esses valores estão muito abaixo das tensões normalmente citadas na literatura (as tensões normalmente citadas na literatura estão na faixa de 1 kgf/cm² a 4kgf/cm²). No caso das misturas com *filler* de cimento houve problemas com a precisão do extensômetro, conforme a Figura 9.16. Este problema poderia ter sido evitado com a utilização de um extensômetro de precisão de milésimo de milímetro.

As misturas sem *filler* e com *filler* britado tiveram um parcela de deformação elástica muito pequena. Por outro lado, nas misturas com *filler* de cimento *Portland* esta parcela foi relativamente maior.

Figura 9.16 – Mistura de *filler* de cimento, saltos nas leituras devido à precisão do extensômetro.

Uma outra tendência observada é com relação ao nível de tensão a ser usado no ensaio. As misturas possuem ruptura frágil, pois o aumento do nível de tensão poderia causar o colapso dos corpos-de-prova representativos das misturas. Nas Figuras 9.17, 9.18 e 9.19 são apresentadas as curvas de fluência de alguns corpos-de-prova que romperam durante o ensaio.

Figura 9.17 – Misturas sem *filler* que romperam durante o ensaio.

Figura 9.18 – Mistura com *filler* britado que rompeu durante o ensaio.

Figura 9.19 – Mistura com *filler* de cimento que rompeu durante a realização do ensaio.

CAPÍTULO 10

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Em função dos resultados obtidos no procedimento experimental serão apresentadas algumas conclusões sobre as misturas avaliadas e os ensaios executados.

10.1. ENSAIOS DE CONTROLE DA PERDA DE UMIDADE DAS MISTURAS

Foram observadas as seguintes tendências na realização destes ensaios:

- As misturas ensaiadas apresentaram um mesmo padrão ou comportamento no processo de perda de umidade, apesar da utilização de misturas sem *filler* e com *filler*;
- As misturas sem *filler* e com *filler* britado ao final do ensaio apresentavam um tom brilhante e partes segregadas, mas com o simples revolvimento estas podiam ser desfeitas. Porém, as misturas com *filler* de cimento *Portland* tinham um tom fosco e as partes segregadas formavam grãos rígidos que tinham diâmetros de até 1,5 cm e não eram facilmente desfeitos, dificultando o revolvimento das misturas;
- O tempo médio para a perda de 50% da umidade total em todas as misturas é de 12 horas;
- Através do ensaio de controle da perda de umidade foi possível observar o comportamento de cura das misturas ao longo do tempo.

10.2. ENSAIOS DE DOSAGEM *MARSHALL*

10.2.1. Dosagem normalizada (Sem cura antes da compactação)

A seguir serão apresentadas algumas observações sobre os resultados obtidos na dosagem normalizada pelo DNER:

- A falta de realização da cura antes da moldagem dos corpos-de-prova, favorecendo a perda de umidade das misturas influenciou de forma negativa os resultados obtidos;
- A moldagem dos corpos-de-prova era muito trabalhosa, pois havia perda de emulsão asfáltica pela base do cilindro, perda de massa da mistura quando o soquete de compactação era retirado e as dimensões dos corpos-de-prova eram muito variadas;
- Os volumes de vazios das misturas eram muito elevados;
- A estabilidade *Marshall* era muito baixa e indicava misturas possivelmente problemáticas.

10.2.2. Dosagem modificada

- A realização da cura antes da moldagem dos corpos-de-prova, favorecendo a perda de umidade das misturas influenciou de forma positiva os resultados obtidos;
- O processo de moldagem foi feito de maneira menos trabalhosa. Não havia perda de emulsão durante a compactação e nem perda de massa da mistura na retirada do soquete. Os corpos-de-prova apresentavam-se com formatos mais regulares e ao contato com as mãos pareciam mais resistentes;
- As misturas com *filler* britado e com *filler* de cimento *Portland* apresentaram resultados ligeiramente superiores aos das misturas sem *filler*;
- Os resultados obtidos na dosagem modificada foram superiores aos da dosagem normalizada, constatando que a cura antes da compactação das misturas pode influenciar significativamente nos resultados finais do ensaio;

- Em função dos resultados obtidos, na dosagem normalizada pelo DNER através do ME 107/94 e na dosagem modificada (modificação na cura antes da compactação), concluiu-se que a norma do DNER para dosagem de misturas a frio deve ser revisada com relação a cura antes da compactação das misturas, principalmente, quando do uso de emulsões asfálticas do tipo RL-1C.

10.3. ENSAIOS *MARSHALL* NO TEOR ÓTIMO DE ASFALTO RESIDUAL PARA CADA MISTURA E VARIAÇÃO NA PERDA DE UMIDADE DAS MISTURAS

- Houve uma tendência que indica que a perda de umidade para a compactação das misturas não deve ser superior a 50%. No caso das misturas com *filler* de cimento *Portland*, esse percentual poderia ser mais baixo, ou seja, algo em torno de 30%;
- Ficou claro que a perda de umidade excessiva nas misturas prejudica seu desempenho em relação ao ensaio *Marshall*, isto é, valores superiores a 50% e principalmente a partir de 70% de umidade perdida podem comprometer claramente os resultados;
- As misturas com *filler* britado foram as que apresentaram um comportamento mais definido, pois os melhores resultados obtidos corresponderam a 50% da umidade perdida para a compactação;
- As misturas com *filler* de cimento *Portland* tiveram seus melhores resultados em percentuais pequenos de perda de umidade, isto é, entre 10% e 30%;
- Em todas as misturas o processo de compactação foi favorecido para perda de umidade a partir de 30%, pois não havia mais exsudação de emulsão e nem perda de massa;
- De um modo geral os melhores resultados do ensaio foram obtidos para percentuais entre 30% e 50% de umidade perdida.

10.4. ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

- As misturas sem *filler* e com *filler* britado apresentaram, mesmo para níveis de tensões muito baixos, deformações permanentes excessivas e pouca deformação elástica;
- As misturas com *filler* de cimento *Portland* apresentaram um comportamento relativamente melhor e as deformações permanentes sofridas por estas misturas eram menores que as das duas misturas anteriormente mencionadas. Porém, vale ressaltar que as maiores variações de resultados ocorreram nestas misturas;
- As variações ocorridas nas misturas com *filler* de cimento *Portland* podem ser atribuídas à presença deste material.

10.5. SUGESTÕES

Levando em consideração os resultados obtidos a seguir são listadas algumas sugestões para trabalhos que podem ser desenvolvidos futuramente:

- Investigar a influência da cura após a compactação, aliada à cura antes da compactação dos corpos-de-prova, sobre os resultados dos ensaios aqui apresentados;
- Testar outras faixas granulométricas para misturas de areia-asfalto a frio, bem como, outras areias ou materiais que possam substituí-la;
- Utilizar outros tipos de emulsão asfáltica e efetuar comparação de resultados;
- Avaliar outros procedimento de cura antes da compactação, tais como:
 - Cura em estufa sob diversas temperaturas;
 - Aquecimento da mistura antes da compactação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL – ABDULWAHHAB, H., Bayomy, F., AL – HALHOULI, A. (1987). Evaluation of emulsified, asphalt – treated sand for low – volume roads and road bases. Transportation Research Record, 1106, p. 71-80.
- BIRMAN, S. (1961). Pré-misturados a frio. Anais da II Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, p. 269 – 289.
- CARVALHO FILHO, C. R. de & BORDES, P. (1997). Grave-emulsão: técnica de mistura asfáltica a frio para manutenção e construção de rodovias. 1º Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Rio de Janeiro, p. 706-721.
- COSTA, C. A., LEAL, J. F., BESSA, F. C. (1996) Pré – aquecimento de emulsão asfáltica RR – 2C em serviços de pavimentação por espargimento do ligante. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, anais Vol 1, p. 1263-1288.
- COELHO, V. (1996). *Contribuição ao estudo das deformações permanentes, nas condições do Brasil, em camadas de concreto asfáltico de pavimentação*. São Carlos, 182 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DARTER, M. I., WASILL, R. G., Ahfield, S. R. (1980). Use of Marshall equipment in development of asphalt emulsion mixture design methods and criteria. Transportation Research Record, 754, p. 9-16.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1994). ME 107/94 – *Misturas betuminosas a frio, com emulsão asfáltica – ensaio Marshall*. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1995). EM 036/95 – *Cimento Portland – Recebimento e aceitação*. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1997). EM 367/97 – *Material de enchimento para misturas betuminosas*. Rio de Janeiro.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1997). EE 369/97 – *Emulsões asfálticas catiônicas*. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1997). ME 054/97 – *Equivalente de areia*. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1998). ME 194/98 – *Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman*. Rio de Janeiro.
- FERNANDES JR, J. L., ODA, S. (1996). Comparação dos métodos utilizados no Brasil para análise de misturas asfálticas com os propostos pelo Programa SHRP. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, anais. Vol. 1, p. 1487-1502.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO. (1972). IBP/ABNT-P-EB174 – *Emulsões asfálticas catiônicas*. Rio de Janeiro.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO. (1994). *Informações básicas sobre materiais asfálticos*. 5 ed. rev. Rio de Janeiro.
- KIM, Y. R., KIM, N. & KHOSLA, N. P. (1992). *Effects of aggregate type and gradation on fatigue and permanent deformation of asphalt concrete; effects of aggregate and mineral fillers on asphalt mixture performance*. ASTM STP 1147, Richard C. Meininger, Ed. American Society for Testing Materials, Philadelphia, p. 328-347.
- MAMLOUK, M.S., WOOD, L. E., GADALLAH, A (1980). A Laboratory Evaluation of asphalt emulsion mixtures by use of the Marshall and indirect tensile tests. Transportation Research Record, 754, p. 17-22.
- MELO, A L. (1961). Areia – Asfalto, sua utilização em Pernambuco. Anais da II Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, p. 315 – 327.
- MELLO, A L. (1963). Pavimentação: dimensionamento, tecnologia e construção. Areia-asfalto a frio. Associação Brasileira de Pavimentação.
- MOMM, L. & DOMINGUES, F. A (1996). *A Efeitos da graduação dos agregados nas misturas asfálticas*. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, anais Vol. 1, p. 87-114.
- MOTTA, L.M.G., SÁ, M.F.P., OLIVEIRA, P.M.F., SOUSA, A M. (1996). *O ensaio de creep estático e dinâmico na avaliação das misturas asfálticas*. 30ª Reunião Anual de Pavimentação. Associação Brasileira de Pavimentação, Anais Vol. 1, p. 115-126.

- MOTTA, L.M.G. & PINTO, S. (1995). O uso de ensaios estático na definição de parâmetros de comportamento das misturas asfálticas. 12º Encontro de Asfalto. Instituto Brasileiro de Petróleo, p. 153-178.
- MOULTHROP, J. S, HICKS, G. R., BALLOU, W. R. (1997). Emulsion: The future of pavement maintenance? Emulsified asphalt seeks its niche in the paving industry. Asphalt Contractor Magazine, p. 48-53, february.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM. (1977). Synthesis of highway practice, 30 – Emulsões betuminosas para pavimentos rodoviários (Bituminous emulsions for highway pavements) Revisor da Tradução João Bento J. Lopes, Rio de Janeiro, IPR, 93p. (Publ. 612).
- NEDER, E. E., NG, T., STRODER, M. (1996). Agentes de adesão para misturas asfálticas betuminosas. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, anais Vol. 1, p. 137-154.
- SÁ, M.F.P. & MOTTA, L.M.G. (1996). Utilização de ensaios de creep estático e dinâmico para caracterização de misturas asfálticas. 13º Encontro de Asfalto. Instituto Brasileiro de Petróleo, p. 92-115.
- SABOGAL, F. S. (1996). Diagnóstico sobre el reciclado com emulsión asfáltica de pavimentos flexibles en Colombia. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, anais Vol. 1, p. 1562-1574.
- SANTANA, H. (1993). *Manual de pré – misturados a frio*. Rio de Janeiro, IBP/Comissão de Asfalto.
- SANTANA, H. (1960). Relato de um insucesso. Anais da I Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, p. 315 – 327.
- SILVEIRA, M. A. (1999). *Efeitos da adição de polímeros em areia – asfalto a frio*. São Carlos, 103 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SMITH, F.P. Construction et entretien des revêtements du type sheet asphalt. Rapport 12, Association Internationale Permanente des Congrès de La Route, IV Congrès, Seville, 1923.
- SUGUIO, K. (1973). *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo.
- TAVARES NETO, P. (1976). *Estudo de areia – asfalto preparada com emulsões catiônicas*. Rio de Janeiro, DNER / Instituto de Pesquisas Rodoviárias.
- VAN DE LOO, P. J. (1974). Creep testing, a simple tool to judge asphalt mix stability. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, v. 43, p. 253-284.

- VAN DE LOO, P. J. (1976). Practical approach to the prediction of rutting in asphalt pavements: The Shell Method. Washington D.C., Transportation Research Record, n. 616, p. 15-21.
- VAN DE LOO, P.J. (1978). The creep test: a key tool in asphalt mix evaluation and in prediction of rutting. Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists, v. 47, p. 522-557.
- VIEIRA, R. I. (1960). Areia asfalto por processo molhado. Anais da I Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, p. 298 – 314.
- WALLER JR, H. F. (1980). Emulsion mix design methods: An overview. Transportation Research Record, 754, p. 1-8.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALI, G., TAHA, R., MUSCATI, M., AL-RASHEIDI, A A (1999). Evaluation os stabilized bases, double sand seal, and slurry seal pavemente sections in the sultanate of Oman. Transportation Research Record, 1652, p. 32-42.
- ANTAS, L. M. (1980). *Dicionário de termos técnicos – Inglês-Português*. São Paulo, Traço Editora.
- BALBO, J. T. (1997). *Pavimentos asfálticos: patologias e manutenção*. São Paulo, Editora Plêiade.
- BOTTIN FILHO, I. A, CERATTI, J. A P., AZAMBUJA, M. A. E. (1997). Areia-asfalto pré-misturadas a quente para pavimentos da planície costeira do RS. I SINBATRA, p. 677-694.
- BOTTIN FILHO, I. A (1997). *Estudo de misturas de areia – asfalto pré – misturadas a quente*. Porto Alegre, 128 p. Dissertação (mestrado) – Curso de Pós – Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- CARVALHO, A D. (1999). *Propriedades das misturas asfálticas densas com brita e com seixo rolado utilizadas como revestimento de pavimentos no Pará*. São Paulo, 102 p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. (1996) Avaliação estrutural de pavimentos. Apostila do Curso sobre Avaliação Estrutural de Pavimentos.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1983). Guia de gerência de pavimentos. Instituto de Pesquisa Rodoviárias, Rio de Janeiro.
- ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS (1996). *Diretrizes para elaboração de dissertações e teses na EESC-USP*. 2ª ed. rev. ampl. São Carlos, SVBIBL.

- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (1975). *Termos técnicos rodoviários adotados no Brasil*. Rio de Janeiro, DNER.
- FERNANDES JR, J. L., Oda, S. (1996). Comparação dos métodos utilizados no Brasil para análise de misturas asfálticas com os propostos pelo Programa SHRP. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, p. 1487-1502.
- FERNANDES JR, J. L. Sistema de gerência de pavimentos. Apostila de Curso de Sistema de Gerência de Pavimentos. EESC-USP, São, Carlos, 1996.
- FORETTI, A C. (1999). *Estudo de misturas preparadas com asfalto convencional e asfalto modificado com polímeros*. São Carlos, 81 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GONTIJO, P. R. A Reologia, propriedades visco-elásticas lineares e conceito do módulo de rigidez de betumes puros e de misturas betuminosas – métodos e cálculos. IBP. 5º Encontro de Asfalto.
- GRACIA, J. G. (1997). La tecnología de pavimentacion en frio en construcción y pavimentación de carreteras de baja intensidad de tráfico. 1º Simpósio Internacional de Pavimentação de Rodovias de Baixo Volume de Tráfego. Rio de Janeiro.
- HILLS, J. F. (1973). The creep of asphalt mixes. Journal of the Insitute of Petroleum, n. 570, Vol 59, p. 247-262.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO (1995). *Indústria do petróleo – Exploração & Produção*. Rio de Janeiro, IBP.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO (1998). Relatório de atividades. Rio de Janeiro, IBP.
- KALLAS, B. F. (1979). *Elastic and fatigue behavior of emulsified asphalt paving mixes*. Lexington. Asphalt Institute.
- MOMM, L. & DOMINGUES, F. A (1996). A Efeitos da graduação dos agregados nas misturas asfálticas. 30ª Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, anais Vol. 1, p. 87-114.
- MOTTA, L.M.G. Resiliência e fadiga de misturas asfálticas. IBP. Rio de Janeiro, 1994.
- PINTO, S. (1996). *Avaliação estrutural de pavimentos*. DNER.
- POLITANO, W., LOPES, L. R., AMARAL, C. (1989). *O papel das estradas na economia rural*. São Paulo, Nobel.

POTTS, C. F., RUTH, B. E., SMITH, L. L. (1980). Performance onf sand-asphalt and limerock pavements in Florida. Transportation Research Record, 741, p. 22-34.

SCHLIESSLER, A S., BULL, A (1994). *Um novo enfoque para a gestão e manutenção rodoviária*. Trad. Instituto Panamericano de Carreteras Brasil.

SOUZA, M. L. (1961). *Misturas betuminosas - associação dos ligantes betuminosos aos agregados – Pré-mistruados – Road mix*. Curso de Pavimentação, DNER.

ANEXO I

RESULTADOS DAS DOSAGENS *MARSHALL* NORMALIZADA E MODIFICADA

RESULTADOS DA DOSAGEM NORMALIZADA PELO DNER – ME 107/94

Cp	TA %	Agreg %	M. Ar	M. lmers.	Vol Cp	k do anel	Def. Anel	Fc	E	Fluência	d	Dt	Vv	Vb	RBV
1	4,6	95,4	1045,02	511,46	533,56	45,5	3,5	0,96	153	10	1,959	2,447	19,97	8,81	30,61
2	4,6	95,4	1041,69	506,86	534,83	45,5	3,6	0,96	157	10	1,948	2,447	20,41	8,76	30,03
3	4,6	95,4	1033,99	505,38	528,61	45,5	3,3	0,96	144	10	1,956	2,447	20,07	8,80	30,47
Média									151	10	1,954		20,15	8,79	30,37
4	5,1	94,9	1135,58	559,75	575,83	45,5	2,5	0,83	94	12	1,972	2,429	18,82	9,84	34,32
5	5,1	94,9	1051,18	510,84	540,34	45,5	2,6	0,93	110	13	1,945	2,429	19,92	9,70	32,76
6	5,1	94,9	1030,36	501,82	528,54	45,5	3,6	0,96	157	13	1,949	2,429	19,76	9,72	32,99
Média									121	13	1,956		19,50	9,76	33,35
7	5,6	94,4	954,84	462,7	492,14	45,5	2,2	1,09	109	13	1,940	2,412	19,55	10,63	35,22
8	5,6	94,4	945,5	463,23	482,27	45,5	3	1,09	149	13	1,961	2,412	18,71	10,74	36,47
9	5,6	94,4	1048,81	501,51	547,3	45,5	2,8	0,89	113	16	1,916	2,412	20,54	10,50	33,83
Média									124	14	1,939		19,60	10,62	35,17
10	6,1	93,9	929,08	451,41	477,67	45,5	1,8	1,14	93	13	1,945	2,394	18,77	11,61	38,22
11	6,1	93,9	936,17	454,75	481,42	45,5	3,7	1,14	192	15	1,945	2,394	18,79	11,61	38,20
12	6,1	93,9	958,19	466,05	492,14	45,5	3,4	1,09	169	14	1,947	2,394	18,69	11,62	38,35
Média									151	14	1,946		18,75	11,62	38,26
13	6,6	93,4	888,9	426,71	462,19	45,5	1,7	1,19	92	13	1,923	2,377	19,10	12,43	39,42
14	6,6	93,4	905,43	436,73	468,7	45,5	2,5	1,19	135	14	1,932	2,377	18,74	12,48	39,98
15	6,6	93,4	958,3	459,97	498,33	45,5	2,6	1,04	123	13	1,923	2,377	19,11	12,43	39,40
Média									117	13	1,926		18,98	12,45	39,60
16	7,1	92,9	951,59	450,27	501,32	45,5	1,3	1,04	62	12	1,898	2,360	19,58	13,20	40,26
17	7,1	92,9	950,14	450,54	499,6	45,5	2,4	1,04	114	15	1,902	2,360	19,43	13,22	40,50
18	7,1	92,9	939,45	445,43	494,02	45,5	2,4	1,09	119	15	1,902	2,360	19,44	13,22	40,49
Média									98	14	1,901		19,48	13,21	40,41

DOSAGEM MARSHALL MODIFICADA PARA MISTURAS SEM FILLER

Cp	TA %	Agreg %	M. Ar	M. Imers.	Vol Cp	k do anel	Def. Anel	Fc	E	Fluência	d	Dt	Vv	Vb	RBV
SF1	4,8	95,2	1011,53	455,54	555,99	45,5	3,1	1,04	147	10	1,819	2,438	25,37	8,65	25,41
SF2	4,8	95,2	1009,31	465,06	544,25	45,5	3,9	1,09	193	11	1,854	2,438	23,93	8,81	26,91
SF3	4,8	95,2	1016,19	461,29	554,9	45,5	4,1	1,04	194	12	1,831	2,438	24,88	8,70	25,91
Média					552				178	13	1,835		24,73	8,72	26,08
SF4	5,3	94,7	1011,49	468,92	542,57	45,5	4,4	1,09	218	13	1,864	2,420	22,97	9,77	29,85
SF5	5,3	94,7	1012,19	462,45	549,74	45,5	3,9	1,09	193	13	1,841	2,420	23,92	9,65	28,75
SF6	5,3	94,7	1014,71	472,55	542,16	45,5	5,4	1,09	268	14	1,872	2,420	22,67	9,81	30,21
Média					545				226	13	1,859		23,19	9,75	29,60
SF7	5,8	94,2	1011,57	469,53	542,04	45,5	5	1,09	248	13	1,866	2,403	22,33	10,70	32,40
SF8	5,8	94,2	1016,83	471,03	545,8	45,5	5,1	1,09	253	13	1,863	2,403	22,46	10,68	32,23
SF9	5,8	94,2	1012,64	467,47	545,17	45,5	5	1,09	248	14	1,857	2,403	22,69	10,65	31,94
Média					544				250	13	1,862		22,49	10,68	32,19
SF10	6,3	93,7	1033,82	501,67	532,15	45,5	11,6	1,14	602	13	1,943	2,385	18,56	12,09	39,45
SF11	6,3	93,7	1029,03	484,97	544,06	45,5	10,2	1,09	506	14	1,891	2,385	20,71	11,77	36,24
SF12	6,3	93,7	1040,45	510,61	529,84	45,5	12,4	1,14	643	13	1,964	2,385	17,68	12,22	40,88
Média					535				584	13	1,933		18,99	12,03	38,86
SF13	6,8	93,2	1038,36	517,65	520,71	45,5	11,6	1,19	628	13	1,994	2,369	15,81	13,39	45,87
SF14	6,8	93,2	1039,25	507,26	531,99	45,5	10,6	1,14	550	14	1,954	2,369	17,52	13,12	42,82
SF15	6,8	93,2	1032,4	494,23	538,17	45,5	9,4	1,14	488	13	1,918	2,369	19,01	12,88	40,40
Média					530				555	13	1,955		17,44	13,13	43,03
SF 16	7,3	92,7	1034,7	496,2	538,5	45,5	3,1	0,93	131	13	1,921	2,352	18,30	13,85	43,08
SF 17	7,3	92,7	1031,18	494	537,18	45,5	4	0,93	169	15	1,920	2,352	18,38	13,84	42,95
SF 18	7,3	92,7	1030,44	491,93	538,51	45,5	4,1	0,93	173	13	1,914	2,352	18,64	13,79	42,53
Média					538				158	14	1,918		18,44	13,83	42,86
SF 19	7,8	92,2	1031,53	498,8	532,73	45,5	3,4	0,96	149	14	1,936	2,335	17,08	14,91	46,60
SF 20	7,8	92,2	1029,05	496	533,05	45,5	4,3	0,96	188	15	1,930	2,335	17,33	14,86	46,16
SF 21	7,8	92,2	1035,02	499,2	535,82	45,5	4,4	0,96	192	15	1,932	2,335	17,28	14,87	46,25
Média					534				176	15	1,933		17,23	14,88	46,34

Cp	TA %	Agreg %	M. Ar	M. Imers.	Vol Cp	k do anel	Def. Anel	Fc	E	Fluência	d	Dt	Vv	Vb	RBV
SF 22	8,3	91,7	1037,31	499,2	538,11	45,5	4,8	0,93	203	17	1,928	2,319	16,87	15,79	48,34
SF 23	8,3	91,7	1038,82	504,1	534,72	45,5	5,1	0,96	223	17	1,943	2,319	16,22	15,91	49,51
SF 24	8,3	91,7	1044,28	507,4	536,88	45,5	4,5	0,93	190	16	1,945	2,319	16,12	15,93	49,70
Média					537				205	17	1,939		16,41	15,88	49,18
SF 25	8,8	91,2	1044,16	506,25	537,91	45,5	4,2	0,93	178	17	1,941	2,303	15,71	16,85	51,75
SF 26	8,8	91,2	1048,14	516	532,14	45,5	4,5	0,96	197	15	1,970	2,303	14,47	17,10	54,16
SF 27	8,8	91,2	1037,82	506,5	531,32	45,5	4,1	0,96	179	16	1,953	2,303	15,18	16,96	52,76
Média					534				184	16	1,955		15,12	16,97	52,89
SF 28	9,3	90,7	1062,08	517,2	544,88	45,5	3,8	0,93	161	18	1,949	2,287	14,77	17,88	54,75
SF 29	9,3	90,7	1061,1	524	537,1	45,5	4,1	0,93	173	16	1,976	2,287	13,62	18,12	57,09
SF 30	9,3	90,7	1061,22	519	542,22	45,5	4,1	0,93	173	15	1,957	2,287	14,43	17,95	55,45
Média					541				169	16	1,961		14,27	17,98	55,76

DOSAGEM MARSHALL MODIFICADA PARA MISTURAS COM FILLER BRITADO

Cp	TA %	Agreg %	M. Ar	M. lmers.	Vol Cp	k do anel	Def. Anel	Fc	E	Fluência	d	Dt	Vv	Vb	RBV
FB1	5,8	94,2	1024,53	483,15	541,38	45,5	5,6	1,09	278	14	1,892	2,405	21,32	10,72	33,45
FB2	5,8	94,2	1031,02	486,05	544,97	45,5	6,3	1,09	312	13	1,892	2,405	21,34	10,71	33,42
FB3	5,8	94,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média					543				295	14	1,892		21,33	10,72	33,44
FB4	6,3	93,7	1016,59	475,92	540,67	45,5	5,7	1,09	283	13	1,880	2,388	21,26	11,57	35,24
FB5	6,3	93,7	1027,4	487,08	540,32	45,5	8,5	1,09	422	15	1,901	2,388	20,37	11,70	36,49
FB6	6,3	93,7	1020,67	479,69	540,98	45,5	8,5	1,09	422	16	1,887	2,388	20,99	11,61	35,62
Média					541				375	15	1,889		20,88	11,63	35,78
FB7	6,8	93,2	1039,42	487,78	551,64	45,5	8,2	1,09	407	17	1,884	2,371	20,53	12,52	37,89
FB8	6,8	93,2	1031,89	489,12	542,77	45,5	8,4	1,09	417	17	1,901	2,371	19,81	12,63	38,94
FB9	6,8	93,2	1032,91	489,25	543,66	45,5	9,3	1,09	461	17	1,900	2,371	19,87	12,63	38,86
Média					546				428	17	1,895		20,07	12,59	38,56
FB10	7,3	92,7	1040,18	498,75	541,43	45,5	7,3	1,09	362	17	1,921	2,354	18,39	13,71	42,71
FB11	7,3	92,7	1036,69	495,4	541,29	45,5	5,3	1,09	263	16	1,915	2,354	18,65	13,67	42,30
FB12	7,3	92,7	1036,2	500,77	535,43	45,5	7,4	1,14	384	16	1,935	2,354	17,79	13,81	43,70
Média					539				336	16	1,924		18,28	13,73	42,90
FB13	7,8	92,2	1029,82	500,29	529,53	45,5	8,5	1,14	441	15	1,945	2,338	16,81	14,84	46,89
FB14	7,8	92,2	1051,83	510,72	541,11	45,5	10,4	1,09	516	17	1,944	2,338	16,85	14,83	46,81
FB15	7,8	92,2	1035,82	503,47	532,35	45,5	9,8	1,14	508	15	1,946	2,338	16,76	14,84	46,96
Média					534				488	16	1,945		16,80	14,84	46,89
FB16	8,3	91,7	1037	523,6	513,4	45,5	11,7	1	532	12	2,020	2,321	12,99	16,40	55,81
FB17	8,3	91,7	1035,65	524,33	511,32	45,5	12	1	546	14	2,025	2,321	12,75	16,45	56,34
FB18	8,3	91,7	1043,5	523,62	519,88	45,5	11,5	1	523	12	2,007	2,321	13,53	16,30	54,63
Média					515				534	13	2,018		13,09	16,38	55,59
FB19	8,8	91,2	1046,14	534,9	511,24	45,5	9,7	1	441	13	2,046	2,305	11,23	17,62	61,07
FB20	8,8	91,2	1056,93	544,05	512,88	45,5	9,6	1	437	12	2,061	2,305	10,60	17,74	62,59
FB21	8,8	91,2	1044,34	538,45	505,89	45,5	10,5	1,04	497	12	2,064	2,305	10,45	17,78	62,98
Média					510				458	12	2,057		10,76	17,71	62,21

Cp	TA %	Agreg %	M. Ar	M. Imers.	Vol Cp	k do anel	Def. Anel	Fc	E	Fluência	d	Dt	Vv	Vb	RBV
FB22	9,3	90,7	1066,28	547,96	518,32	45,5	10,7	1	487	14	2,057	2,289	10,14	18,72	64,87
FB23	9,3	90,7	1063,73	545,75	517,98	45,5	9,5	1	432	16	2,054	2,289	10,30	18,69	64,48
FB24	9,3	90,7	1060	545,6	514,4	45,5	8,9	1	405	14	2,061	2,289	9,99	18,76	65,25
Média					517				441	15	2,057		10,14	18,72	64,86
FB25	9,8	90,2	1064,43	549,79	514,64	45,5	6,8	1	309	17	2,068	2,274	9,03	19,84	68,71
FB26	9,8	90,2	1072,56	553,5	519,06	45,5	5,2	1	237	15	2,066	2,274	9,12	19,82	68,49
FB27	9,8	90,2	1072,53	555,56	516,97	45,5	7,4	1	337	16	2,075	2,274	8,76	19,90	69,45
Média					517				294	16	2,070		8,97	19,85	68,88
FB28	10,3	89,7	1085,08	555,84	529,24	45,5	7	0,96	306	16	2,050	2,258	9,21	20,67	69,18
FB29	10,3	89,7	1080	551,31	528,69	45,5	6,8	0,96	297	18	2,043	2,258	9,54	20,60	68,34
FB30	10,3	89,7	1088,57	555,14	533,43	45,5	6,3	0,96	275	18	2,041	2,258	9,63	20,58	68,11
Média					528				293	17	2,045		9,46	20,62	68,54

DOSAGEM MARSHALL MODIFICADA PARA MISTURAS COM FILLER DE CIMENTO

Cp	TA %	Agreg %	M. Ar	M. Imers.	Vol Cp	k do anel	Def. Anel	Fc	E	Fluência	d	Dt	Vv	Vb	RBV
FC1	5,8	94,2	1039,18	479,2	559,98	45,5	12,4	1,04	587	9	1,856	2,405	22,85	10,51	31,51
FC2	5,8	94,2	1035,41	478,03	557,38	45,5	12,9	1,04	610	9	1,858	2,405	22,77	10,52	31,61
FC3	5,8	94,2	1034,69	475,7	558,99	45,5	10	1,04	473	8	1,851	2,405	23,04	10,48	31,27
Média					559				557	9	1,855		22,88	10,50	31,46
FC4	6,3	93,7	1038,91	488,59	550,32	45,5	13,7	1,09	679	10	1,888	2,388	20,94	11,62	35,68
FC5	6,3	93,7	1041,7	488,02	553,68	45,5	14,4	1,04	681	9	1,881	2,388	21,21	11,58	35,31
FC6	6,3	93,7	1040,6	480,91	559,69	45,5	12,7	1,04	601	11	1,859	2,388	22,14	11,44	34,07
Média					555				654	10	1,876		21,43	11,55	35,02
FC7	6,8	93,2	1032,63	482,15	550,48	45,5	11,6	1,09	575	9	1,876	2,371	20,88	12,47	37,38
FC8	6,8	93,2	1036,14	492,82	543,32	45,5	9,9	1,09	491	9	1,907	2,371	19,57	12,67	39,31
FC9	6,8	93,2	1043,53	493,87	549,66	45,5	13,5	1,09	670	10	1,899	2,371	19,93	12,62	38,77
Média					548				579	9	1,894		20,12	12,59	38,49
FC10	7,3	92,7	1042,05	503,63	538,42	45,5	19,1	1,14	991	10	1,935	2,354	17,79	13,81	43,71
FC11	7,3	92,7	1046,06	496,04	550,02	45,5	14,2	1,09	704	10	1,902	2,354	19,21	13,57	41,40
FC12	7,3	92,7	1056,98	503,51	553,47	45,5	15,4	1,04	729	10	1,910	2,354	18,88	13,63	41,93
Média					547				808	10	1,916		18,63	13,67	42,35
FC13	7,8	92,2	1051,65	509,2	542,45	45,5	15,6	1,09	774	11	1,939	2,338	17,07	14,79	46,43
FC14	7,8	92,2	1051,9	503,98	547,92	45,5	15	1,09	744	8	1,920	2,338	17,87	14,64	45,03
FC15	7,8	92,2	1068,12	509,41	558,71	45,5	14,2	1,04	672	10	1,912	2,338	18,22	14,58	44,46
Média					550				730	10	1,923		17,72	14,67	45,31
FC 16	8,3	91,7	1049,65	490	559,65	45,5	9,2	0,89	373	9	1,876	2,321	19,20	15,23	44,23
FC17	8,3	91,7	1039,73	488,1	551,63	45,5	10,3	0,89	417	10	1,885	2,321	18,80	15,30	44,87
FC18	8,3	91,7	1038,47	487,94	550,53	45,5	9,9	0,89	401	9	1,886	2,321	18,74	15,32	44,97
Média					554				397	9	1,882		18,92	15,28	44,69
FC 19	8,8	91,2	1049,68	500,6	549,08	45,5	8,6	0,89	348	10	1,912	2,305	17,07	16,46	49,09
FC 20	8,8	91,2	1051,56	505,76	545,8	45,5	11	0,93	465	10	1,927	2,305	16,42	16,59	50,25
FC 21	8,8	91,2	1047,17	494,6	552,57	45,5	7,9	0,89	320	11	1,895	2,305	17,79	16,32	47,84
Média					549				378	10	1,911		17,10	16,46	49,06

Cp	TA %	Agreg %	M. Ar	M. Imers.	Vol Cp	k do anel	Def. Anel	Fc	E	Fluência	d	Dt	Vv	Vb	RBV
FC 22	9,3	90,7	1040,11	498,05	542,06	45,5	8,2	0,93	347	12	1,919	2,289	16,19	17,46	51,90
FC 23	9,3	90,7	1042,55	498,8	543,75	45,5	11,3	0,93	478	10	1,917	2,289	16,25	17,45	51,78
FC 24	9,3	90,7	1058,98	509,3	549,68	45,5	9,1	0,89	369	10	1,927	2,289	15,85	17,53	52,53
Média					545				398	11	1,921		16,09	17,48	52,07
FC 25	9,8	90,2	1054,52	505,45	549,07	45,5	9,7	0,89	393	10	1,921	2,274	15,53	18,42	54,26
FC 26	9,8	90,2	1054,5	501,4	553,1	45,5	10,8	0,89	437	11	1,907	2,274	16,15	18,29	53,11
FC 27	9,8	90,2	1059,17	505,6	553,57	45,5	8,3	0,89	336	13	1,913	2,274	15,85	18,35	53,66
Média					552				389	11	1,913		15,84	18,36	53,68
FC 28	10,3	89,7	1065,02	511,25	553,77	45,5	6,8	0,89	275	10	1,923	2,258	14,84	19,39	56,66
FC 29	10,3	89,7	1071,96	519,35	552,61	45,5	9,1	0,89	369	9	1,940	2,258	14,10	19,56	58,11
FC 30	10,3	89,7	1084,7	534,8	549,9	45,5	9,3	0,89	377	11	1,973	2,258	12,65	19,89	61,12
Média					552				340	10	1,945		13,86	19,62	58,63

ANEXO II

RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTATICA

Mistura: Areia-asfalto a frio sem filler

Teor de asfalto residual: 6,5%

Teor de umidade perdida: 46%

Número do CP: SF 01

Data: 04/03/2000

Tensão: 0,2 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,015	133,70	1620	27	0,210	0,314	6,37
60	1	0,020	0,030	66,85	1680	28	0,220	0,329	6,08
90		0,030	0,045	44,57	1740	29	0,220	0,329	6,08
120	2	0,040	0,060	33,42	1800	30	0,220	0,329	6,08
150		0,050	0,075	26,74	2100	35	0,240	0,359	5,57
180	3	0,060	0,090	22,28	2400	40	0,260	0,389	5,14
210		0,070	0,105	19,10	2700	45	0,270	0,404	4,95
240	4	0,070	0,105	19,10	3000	50	0,280	0,419	4,77
270		0,080	0,120	16,71	3300	55	0,290	0,434	4,61
300	5	0,080	0,120	16,71	3600	60	0,300	0,449	4,46
360	6	0,090	0,135	14,86	Descarregamento				
420	7	0,090	0,135	14,86	3630		0,250	0,374	5,35
480	8	0,100	0,150	13,37	3660	61	0,250	0,374	5,35
540	9	0,100	0,150	13,37	3690		0,250	0,374	5,35
600	10	0,110	0,165	12,15	3720	62	0,250	0,374	5,35
660	11	0,110	0,165	12,15	3750		0,250	0,374	5,35
720	12	0,120	0,180	11,14	3780	63	0,250	0,374	5,35
780	13	0,120	0,180	11,14	3810		0,250	0,374	5,35
840	14	0,130	0,194	10,28	3840	64	0,250	0,374	5,35
900	15	0,130	0,194	10,28	3870		0,250	0,374	5,35
960	16	0,140	0,209	9,55	3900	65	0,250	0,374	5,35
1020	17	0,150	0,224	8,91	3960	66	0,250	0,374	5,35
1080	18	0,160	0,239	8,36	4020	67	0,240	0,359	5,57
1140	19	0,170	0,254	7,86	4080	68	0,240	0,359	5,57
1200	20	0,180	0,269	7,43	4140	69	0,240	0,359	5,57
1260	21	0,180	0,269	7,43	4200	70	0,240	0,359	5,57
1320	22	0,190	0,284	7,04	4260	71	0,240	0,359	5,57
1380	23	0,190	0,284	7,04	4320	72	0,240	0,359	5,57
1440	24	0,200	0,299	6,68	4380	73	0,240	0,359	5,57
1500	25	0,200	0,299	6,68	4440	74	0,240	0,359	5,57
1560	26	0,210	0,314	6,37	4500	75	0,240	0,359	5,57
Dados do CP		Antes	Depois	Tensão do ensaio Kgf/cm ²			0,2		
M _{ar} (g)		1037,87	1034,76	Def _i (%)			0,449		
M _{imersa} (g)		505,34	502,12	Def _{vp} (%)			0,359		
d _{ap}		1,949	1,943	Def _{el} (%)			0,090		
D _m (mm)		101,48	101,88						
H _m (mm)		66,85	64,23	M _F (MPa)			5,57		
P _{agreg}		93,5	-						
P _b		6,5	-	Declividade da curva de fluência					
D _t		2,380	-	210 - 2100			0,254		
Vv (%)		18,11	-	300 - 3000			0,299		
RBV (%)		40,73	-	360 - 3600			0,314		

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTATICA

Mistura: Areia-asfalto a frio sem filler

Teor de asfalto residual: 6,5%

Teor de umidade perdida: 46%

Número do CP: SF 02

Data: 04/03/2000

Tensão: 0,2 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,015	131,16	1620	27	0,180	0,274	7,29
60	1	0,020	0,030	65,58	1680	28	0,190	0,290	6,90
90		0,030	0,046	43,72	1740	29	0,190	0,290	6,90
120	2	0,040	0,061	32,79	1800	30	0,190	0,290	6,90
150		0,040	0,061	32,79	2100	35	0,210	0,320	6,25
180	3	0,050	0,076	26,23	2400	40	0,240	0,366	5,47
210		0,050	0,076	26,23	2700	45	0,260	0,396	5,04
240	4	0,060	0,091	21,86	3000	50	0,300	0,457	4,37
270		0,070	0,107	18,74	3300	55	0,310	0,473	4,23
300	5	0,070	0,107	18,74	3600	60	0,320	0,488	4,10
360	6	0,080	0,122	16,40	Descarregamento				
420	7	0,080	0,122	16,40	3630		0,290	0,442	4,52
480	8	0,090	0,137	14,57	3660	61	0,290	0,442	4,52
540	9	0,090	0,137	14,57	3690		0,280	0,427	4,68
600	10	0,100	0,152	13,12	3720	62	0,280	0,427	4,68
660	11	0,110	0,168	11,92	3750		0,280	0,427	4,68
720	12	0,110	0,168	11,92	3780	63	0,280	0,427	4,68
780	13	0,120	0,183	10,93	3810		0,280	0,427	4,68
840	14	0,120	0,183	10,93	3840	64	0,280	0,427	4,68
900	15	0,130	0,198	10,09	3870		0,280	0,427	4,68
960	16	0,140	0,213	9,37	3900	65	0,280	0,427	4,68
1020	17	0,140	0,213	9,37	3960	66	0,280	0,427	4,68
1080	18	0,150	0,229	8,74	4020	67	0,280	0,427	4,68
1140	19	0,150	0,229	8,74	4080	68	0,280	0,427	4,68
1200	20	0,150	0,229	8,74	4140	69	0,280	0,427	4,68
1260	21	0,160	0,244	8,20	4200	70	0,280	0,427	4,68
1320	22	0,160	0,244	8,20	4260	71	0,280	0,427	4,68
1380	23	0,170	0,259	7,72	4320	72	0,280	0,427	4,68
1440	24	0,170	0,259	7,72	4380	73	0,280	0,427	4,68
1500	25	0,180	0,274	7,29	4440	74	0,280	0,427	4,68
1560	26	0,180	0,274	7,29	4500	75	0,280	0,427	4,68
Dados do CP		Antes	Depois	Tensão do ensaio Kg/cm ²				0,2	
M _{ar} (g)		1031,59	1029,12	Def _i (%)				0,488	
M _{imersa} (g)		509	507,44	Def _{vp} (%)				0,427	
d _{ap}		1,974	1,973	Def _{el} (%)				0,061	
D _m (mm)		101,5	102,1						
H _m (mm)		65,58	64,1	M _F (MPa)				4,68	
P _{agreg}		93,5	-						
P _b		6,5	-	Declividade da curva de fluência					
D _t		2,380	-	210 - 2100				0,244	
V _v (%)		17,06	-	300 - 3000				0,351	
RBV (%)		42,49	-	360 - 3600				0,366	

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTATICA

Mistura: Areia-asfalto a frio sem filler

Teor de asfalto residual: 6,5%

Teor de umidade perdida: 46%

Número do CP: SF 03

Data: 04/03/2000

Tensão: 0,2 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,01	0,015	130,90	1620	27	0,18	0,275	7,27
60	1	0,02	0,031	65,45	1680	28	0,18	0,275	7,27
90		0,03	0,046	43,63	1740	29	0,19	0,290	6,89
120	2	0,03	0,046	43,63	1800	30	0,19	0,290	6,89
150		0,04	0,061	32,73	2100	35	0,21	0,321	6,23
180	3	0,04	0,061	32,73	2400	40	0,23	0,351	5,69
210		0,05	0,076	26,18	2700	45	0,24	0,367	5,45
240	4	0,06	0,092	21,82	3000	50	0,26	0,397	5,03
270		0,06	0,092	21,82	3300	55	0,27	0,413	4,85
300	5	0,07	0,107	18,70	3600	60	0,28	0,428	4,68
360	6	0,08	0,122	16,36	Descarregamento				
420	7	0,08	0,122	16,36	3630		0,24	0,367	5,45
480	8	0,09	0,138	14,54	3660	61	0,24	0,367	5,45
540	9	0,09	0,138	14,54	3690		0,24	0,367	5,45
600	10	0,1	0,153	13,09	3720	62	0,24	0,367	5,45
660	11	0,1	0,153	13,09	3750		0,24	0,367	5,45
720	12	0,11	0,168	11,90	3780	63	0,24	0,367	5,45
780	13	0,11	0,168	11,90	3810		0,24	0,367	5,45
840	14	0,12	0,183	10,91	3840	64	0,24	0,367	5,45
900	15	0,13	0,199	10,07	3870		0,23	0,351	5,69
960	16	0,13	0,199	10,07	3900	65	0,23	0,351	5,69
1020	17	0,14	0,214	9,35	3960	66	0,23	0,351	5,69
1080	18	0,14	0,214	9,35	4020	67	0,23	0,351	5,69
1140	19	0,15	0,229	8,73	4080	68	0,23	0,351	5,69
1200	20	0,15	0,229	8,73	4140	69	0,23	0,351	5,69
1260	21	0,16	0,244	8,18	4200	70	0,23	0,351	5,69
1320	22	0,16	0,244	8,18	4260	71	0,23	0,351	5,69
1380	23	0,16	0,244	8,18	4320	72	0,23	0,351	5,69
1440	24	0,17	0,260	7,70	4380	73	0,23	0,351	5,69
1500	25	0,17	0,260	7,70	4440	74	0,23	0,351	5,69
1560	26	0,18	0,275	7,27	4500	75	0,23	0,351	5,69
Dados do CP			Antes	Depois	Tensão do ensaio Kg/cm ²			0,2	
M _{ar} (g)			1025,43	1019,12	Def _i (%)			0,428	
M _{imersa} (g)			504,75	496,32	Def _{vp} (%)			0,351	
d _{ap}			1,969	1,949	Def _{el} (%)			0,076	
D _m (mm)			101,43	101,7					
H _m (mm)			65,45	64,58	M _F (MPa)			5,69	
P _{agreg}			93,5	-					
P _b			6,5	-	Declividade da curva de fluência				
D _t			2,380	-	210 - 2100			0,244	
Vv (%)			17,25	-	300 - 3000			0,290	
RBV (%)			42,16	-	360 - 3600			0,306	

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTATICA

Mistura: Areia-asfalto a frio sem filler

Teor de asfalto residual: 6,5%

Teor de umidade perdida: 46%

Número do CP: SF 04

Data: 04/03/2000

Tensão: 0,2 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,015	131,96	1620	27	0,280	0,424	4,71
60	1	0,020	0,030	65,98	1680	28	0,280	0,424	4,71
90		0,030	0,045	43,99	1740	29	0,280	0,424	4,71
120	2	0,040	0,061	32,99	1800	30	0,290	0,440	4,55
150		0,050	0,076	26,39	2100	35	0,300	0,455	4,40
180	3	0,060	0,091	21,99	2400	40	0,310	0,470	4,26
210		0,070	0,106	18,85	2700	45	0,330	0,500	4,00
240	4	0,080	0,121	16,50	3000	50	0,340	0,515	3,88
270		0,090	0,136	14,66	3300	55	0,350	0,530	3,77
300	5	0,100	0,152	13,20	3600	60	0,360	0,546	3,67
360	6	0,110	0,167	12,00	Descarregamento				
420	7	0,130	0,197	10,15	3630		0,320	0,485	4,12
480	8	0,140	0,212	9,43	3660	61	0,320	0,485	4,12
540	9	0,150	0,227	8,80	3690		0,320	0,485	4,12
600	10	0,160	0,242	8,25	3720	62	0,320	0,485	4,12
660	11	0,170	0,258	7,76	3750		0,320	0,485	4,12
720	12	0,170	0,258	7,76	3780	63	0,320	0,485	4,12
780	13	0,180	0,273	7,33	3810		0,320	0,485	4,12
840	14	0,190	0,288	6,95	3840	64	0,320	0,485	4,12
900	15	0,190	0,288	6,95	3870		0,320	0,485	4,12
960	16	0,210	0,318	6,28	3900	65	0,320	0,485	4,12
1020	17	0,220	0,333	6,00	3960	66	0,320	0,485	4,12
1080	18	0,230	0,349	5,74	4020	67	0,320	0,485	4,12
1140	19	0,240	0,364	5,50	4080	68	0,320	0,485	4,12
1200	20	0,250	0,379	5,28	4140	69	0,320	0,485	4,12
1260	21	0,250	0,379	5,28	4200	70	0,320	0,485	4,12
1320	22	0,260	0,394	5,08	4260	71	0,320	0,485	4,12
1380	23	0,260	0,394	5,08	4320	72	0,320	0,485	4,12
1440	24	0,270	0,409	4,89	4380	73	0,320	0,485	4,12
1500	25	0,270	0,409	4,89	4440	74	0,320	0,485	4,12
1560	26	0,270	0,409	4,89	4500	75	0,320	0,485	4,12

Dados do CP	Antes	Depois	Tensão do ensaio Kgf/cm ²	0,2
M _{ar} (g)	1024,7	1018,57	Def _i (%)	0,546
M _{imersa} (g)	500,34	496,09	Def _{vp} (%)	0,485
d _{ap}	1,954	1,949	Def _{el} (%)	0,061
D _m (mm)	101,4	102,67		
H _m (mm)	65,98	64,36	M _F (MPa)	4,12
P _{agreg}	93,5	-		
P _b	6,5	-	Declividade da curva de fluência	
D _t	2,380	-	210 - 2100	0,349
Vv (%)	17,89	-	300 - 3000	0,364
RBV (%)	41,09	-	360 - 3600	0,379

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTATICA

Mistura: Areia-asfalto a frio sem filler

Teor de asfalto residual: 6,5%

Teor de umidade perdida: 46%

Número do CP: SF 05

Data: 04/03/2000

Tensão: 0,2 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,015	132,00	1620	27	0,180	0,273	7,33
60	1	0,020	0,030	66,00	1680	28	0,180	0,273	7,33
90		0,030	0,045	44,00	1740	29	0,180	0,273	7,33
120	2	0,040	0,061	33,00	1800	30	0,180	0,273	7,33
150		0,040	0,061	33,00	2100	35	0,190	0,288	6,95
180	3	0,050	0,076	26,40	2400	40	0,200	0,303	6,60
210		0,060	0,091	22,00	2700	45	0,210	0,318	6,29
240	4	0,070	0,106	18,86	3000	50	0,220	0,333	6,00
270		0,070	0,106	18,86	3300	55	0,230	0,348	5,74
300	5	0,080	0,121	16,50	3600	60	0,240	0,364	5,50
360	6	0,090	0,136	14,67	Descarregamento				
420	7	0,090	0,136	14,67	3630		0,210	0,318	6,29
480	8	0,100	0,152	13,20	3660	61	0,210	0,318	6,29
540	9	0,110	0,167	12,00	3690		0,210	0,318	6,29
600	10	0,110	0,167	12,00	3720	62	0,210	0,318	6,29
660	11	0,120	0,182	11,00	3750		0,210	0,318	6,29
720	12	0,120	0,182	11,00	3780	63	0,200	0,303	6,60
780	13	0,130	0,197	10,15	3810		0,200	0,303	6,60
840	14	0,130	0,197	10,15	3840	64	0,200	0,303	6,60
900	15	0,140	0,212	9,43	3870		0,200	0,303	6,60
960	16	0,140	0,212	9,43	3900	65	0,200	0,303	6,60
1020	17	0,150	0,227	8,80	3960	66	0,200	0,303	6,60
1080	18	0,150	0,227	8,80	4020	67	0,200	0,303	6,60
1140	19	0,150	0,227	8,80	4080	68	0,200	0,303	6,60
1200	20	0,160	0,242	8,25	4140	69	0,200	0,303	6,60
1260	21	0,160	0,242	8,25	4200	70	0,200	0,303	6,60
1320	22	0,160	0,242	8,25	4260	71	0,200	0,303	6,60
1380	23	0,160	0,242	8,25	4320	72	0,200	0,303	6,60
1440	24	0,170	0,258	7,76	4380	73	0,200	0,303	6,60
1500	25	0,170	0,258	7,76	4440	74	0,200	0,303	6,60
1560	26	0,170	0,258	7,76	4500	75	0,200	0,303	6,60

Dados do CP	Antes	Depois	Tensão do ensaio Kg/cm ²	0,2
M _{ar} (g)	1032,41	1029,4	Def _i (%)	0,364
M _{imersa} (g)	507,8	501,2	Def _{vp} (%)	0,303
d _{ap}	1,968	1,949	Def _{el} (%)	0,061
D _m (mm)	101,1	102,13		
H _m (mm)	66	64,93	M _F (MPa)	6,60
P _{agreg}	93,5	-		
P _b	6,5	-	Declividade da curva de fluência	
D _t	2,380	-	210 - 2100	0,197
Vv (%)	17,31	-	300 - 3000	0,212
RBV (%)	42,06	-	360 - 3600	0,227

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTATICA

Mistura: Areia-asfalto a frio com filler cimento

Teor de asfalto residual: 7,5%

Teor de umidade perdida: 22%

Número do CP: FC 06

Data: 07/03/2000

Tensão: 2,0 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,060	0,092	216,50	1620	27	0,1	0,154	129,90
60	1	0,060	0,092	216,50	1680	28	0,1	0,154	129,90
90		0,070	0,108	185,57	1740	29	0,1	0,154	129,90
120	2	0,070	0,108	185,57	1800	30	0,1	0,154	129,90
150		0,070	0,108	185,57	2100	35	0,1	0,154	129,90
180	3	0,070	0,108	185,57	2400	40	0,1	0,154	129,90
210		0,070	0,108	185,57	2700	45	0,1	0,154	129,90
240	4	0,070	0,108	185,57	3000	50	0,1	0,154	129,90
270		0,070	0,108	185,57	3300	55	0,1	0,154	129,90
300	5	0,070	0,108	185,57	3600	60	0,1	0,154	129,90
360	6	0,070	0,108	185,57	Descarregamento				
420	7	0,070	0,108	185,57	3630		0,09	0,139	144,33
480	8	0,070	0,108	185,57	3660	61	0,09	0,139	144,33
540	9	0,070	0,108	185,57	3690		0,09	0,139	144,33
600	10	0,070	0,108	185,57	3720	62	0,09	0,139	144,33
660	11	0,070	0,108	185,57	3750		0,09	0,139	144,33
720	12	0,080	0,123	162,38	3780	63	0,09	0,139	144,33
780	13	0,080	0,123	162,38	3810		0,09	0,139	144,33
840	14	0,090	0,139	144,33	3840	64	0,09	0,139	144,33
900	15	0,090	0,139	144,33	3870		0,08	0,123	162,38
960	16	0,090	0,139	144,33	3900	65	0,08	0,123	162,38
1020	17	0,090	0,139	144,33	3960	66	0,08	0,123	162,38
1080	18	0,100	0,154	129,90	4020	67	0,08	0,123	162,38
1140	19	0,100	0,154	129,90	4080	68	0,08	0,123	162,38
1200	20	0,100	0,154	129,90	4140	69	0,08	0,123	162,38
1260	21	0,100	0,154	129,90	4200	70	0,08	0,123	162,38
1320	22	0,100	0,154	129,90	4260	71	0,08	0,123	162,38
1380	23	0,100	0,154	129,90	4320	72	0,08	0,123	162,38
1440	24	0,100	0,154	129,90	4380	73	0,08	0,123	162,38
1500	25	0,100	0,154	129,90	4440	74	0,08	0,123	162,38
1560	26	0,100	0,154	129,90	4500	75	0,08	0,123	162,38
Dados do CP			Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²			2,00	
M _{ar} (g)			1043,89		Def _t (%)			0,154	
M _{imersa} (g)			528,24		Def _{vp} (%)			0,123	
d _{ap}			2,024		Def _{el} (%)			0,031	
D _m (mm)			101,3						
H _m (mm)			64,95		M _F (MPa)			162,38	
P _{agreg}			92,5	-					
P _b			7,5	-	Declividade Curva de Fluência				
D _t			2,346	-	210 - 2100			0,046	
V _v (%)			13,72	-	300 - 3000			0,046	
RBV (%)			52,08	-	360 - 3600			0,046	

PLANILHA DOS ENSAIOS DE CREEP ESTÁTICO

Mistura: areia-asfalto a frio com filler cimento

Teor de asfalto residual: 7,5%

Teor de umidade perdida: 22%

Número do CP: FC 07

Data: 07/03/2000

Tensão: 2,0 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,015	1296,00	1620	27	0,24	0,370	54,00
60	1	0,020	0,031	648,00	1680	28	0,24	0,370	54,00
90		0,040	0,062	324,00	1740	29	0,25	0,386	51,84
120	2	0,050	0,077	259,20	1800	30	0,26	0,401	49,85
150		0,070	0,108	185,14	2100	35	0,27	0,417	48,00
180	3	0,080	0,123	162,00	2400	40	0,28	0,432	46,29
210		0,090	0,139	144,00	2700	45	0,29	0,448	44,69
240	4	0,100	0,154	129,60	3000	50	0,31	0,478	41,81
270		0,100	0,154	129,60	3300	55	0,32	0,494	40,50
300	5	0,110	0,170	117,82	3600	60	0,33	0,509	39,27
360	6	0,120	0,185	108,00	Descarregamento				
420	7	0,130	0,201	99,69	3630		0,2	0,309	64,80
480	8	0,140	0,216	92,57	3660	61	0,19	0,293	68,21
540	9	0,150	0,231	86,40	3690		0,19	0,293	68,21
600	10	0,160	0,247	81,00	3720	62	0,18	0,278	72,00
660	11	0,160	0,247	81,00	3750		0,18	0,278	72,00
720	12	0,170	0,262	76,24	3780	63	0,18	0,278	72,00
780	13	0,180	0,278	72,00	3810		0,18	0,278	72,00
840	14	0,180	0,278	72,00	3840	64	0,18	0,278	72,00
900	15	0,190	0,293	68,21	3870		0,18	0,278	72,00
960	16	0,190	0,293	68,21	3900	65	0,18	0,278	72,00
1020	17	0,200	0,309	64,80	3960	66	0,17	0,262	76,24
1080	18	0,200	0,309	64,80	4020	67	0,17	0,262	76,24
1140	19	0,210	0,324	61,71	4080	68	0,17	0,262	76,24
1200	20	0,210	0,324	61,71	4140	69	0,17	0,262	76,24
1260	21	0,220	0,340	58,91	4200	70	0,17	0,262	76,24
1320	22	0,220	0,340	58,91	4260	71	0,17	0,262	76,24
1380	23	0,230	0,355	56,35	4320	72	0,17	0,262	76,24
1440	24	0,230	0,355	56,35	4380	73	0,17	0,262	76,24
1500	25	0,230	0,355	56,35	4440	74	0,17	0,262	76,24
1560	26	0,240	0,370	54,00	4500	75	0,17	0,262	76,24
Dados do CP		Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²		2,00			
M _{ar} (g)		1048,98	1040,08	Def _t (%)		0,509			
M _{imersa} (g)		534,5	519,56	Def _{vp} (%)		0,262			
d _{ap}		2,039	1,998	Def _{el} (%)		0,247			
D _m (mm)		100,77	102,31						
H _m (mm)		64,8	63,48	M _F (MPa)		76,24			
P _{agreg}		92,5	-						
P _b		7,5	-	Declividade Curva de Fluência					
D _t		2,346	-	210 - 2100		0,278			
V _v (%)		13,1	-	300 - 3000		0,309			
RBV (%)		53,41	-	360 - 3600		0,324			

PLANILHA DOS ENSAIOS DE CREEP ESTÁTICO

Mistura: areia-asfalto a frio com filler cimento

Teor de asfalto residual: 7,5%

Teor de umidade perdida: 22%

Número do CP: FC 08

Data: 07/03/2000

Tensão: 2,0 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,020	0,031	652,80	1620	27	0,150	0,230	87,04
60	1	0,030	0,046	435,20	1680	28	0,150	0,230	87,04
90		0,050	0,077	261,12	1740	29	0,150	0,230	87,04
120	2	0,060	0,092	217,60	1800	30	0,150	0,230	87,04
150		0,060	0,092	217,60	2100	35	0,150	0,230	87,04
180	3	0,070	0,107	186,51	2400	40	0,160	0,245	81,60
210		0,080	0,123	163,20	2700	45	0,160	0,245	81,60
240	4	0,080	0,123	163,20	3000	50	0,170	0,260	76,80
270		0,090	0,138	145,07	3300	55	0,170	0,260	76,80
300	5	0,090	0,138	145,07	3600	60	0,170	0,260	76,80
360	6	0,100	0,153	130,56	Descarregamento				
420	7	0,100	0,153	130,56	3630		0,080	0,123	163,20
480	8	0,110	0,169	118,69	3660	61	0,080	0,123	163,20
540	9	0,110	0,169	118,69	3690		0,070	0,107	186,51
600	10	0,120	0,184	108,80	3720	62	0,070	0,107	186,51
660	11	0,120	0,184	108,80	3750		0,070	0,107	186,51
720	12	0,130	0,199	100,43	3780	63	0,060	0,092	217,60
780	13	0,130	0,199	100,43	3810		0,060	0,092	217,60
840	14	0,130	0,199	100,43	3840	64	0,060	0,092	217,60
900	15	0,130	0,199	100,43	3870		0,060	0,092	217,60
960	16	0,130	0,199	100,43	3900	65	0,060	0,092	217,60
1020	17	0,130	0,199	100,43	3960	66	0,060	0,092	217,60
1080	18	0,140	0,214	93,26	4020	67	0,050	0,077	261,12
1140	19	0,140	0,214	93,26	4080	68	0,050	0,077	261,12
1200	20	0,140	0,214	93,26	4140	69	0,050	0,077	261,12
1260	21	0,140	0,214	93,26	4200	70	0,050	0,077	261,12
1320	22	0,140	0,214	93,26	4260	71	0,050	0,077	261,12
1380	23	0,140	0,214	93,26	4320	72	0,050	0,077	261,12
1440	24	0,140	0,214	93,26	4380	73	0,050	0,077	261,12
1500	25	0,140	0,214	93,26	4440	74	0,050	0,077	261,12
1560	26	0,140	0,214	93,26	4500	75	0,050	0,077	261,12
Dados do CP			Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²			2,00	
M _{ar} (g)			1046,61	1038,18	Def _f (%)			0,260	
M _{imersa} (g)			527,86	518,64	Def _{vp} (%)			0,077	
d _{ap}			2,018	1,998	Def _{el} (%)			0,184	
D _m (mm)			100,9	101,5					
H _m (mm)			65,28	64,15	M _F (MPa)			261,12	
P _{agreg}			92,5	-					
P _b			7,5	-	Declividade Curva de Fluência				
D _t			2,346	-	210 - 2100			0,107	
V _v (%)			14,01	-	300 - 3000			0,123	
RBV (%)			51,47	-	360 - 3600			0,107	

PLANILHA DOS ENSAIOS DE CREEP ESTÁTICO

Mistura: areia-asfalto a frio com filler cimento

Teor de asfalto residual: 7,5%

Teor de umidade perdida: 22%

Número do CP: FC 09

Data: 07/03/2000

Tensão: 2,0 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,015	1298,00	1620	27	0,160	0,247	81,12
60	1	0,020	0,031	649,00	1680	28	0,160	0,247	81,12
90		0,030	0,046	432,67	1740	29	0,160	0,247	81,12
120	2	0,040	0,062	324,50	1800	30	0,160	0,247	81,12
150		0,050	0,077	259,60	2100	35	0,160	0,247	81,12
180	3	0,060	0,092	216,33	2400	40	0,160	0,247	81,12
210		0,060	0,092	216,33	2700	45	0,170	0,262	76,35
240	4	0,060	0,092	216,33	3000	50	0,170	0,262	76,35
270		0,070	0,108	185,43	3300	55	0,170	0,262	76,35
300	5	0,070	0,108	185,43	3600	60	0,180	0,277	72,11
360	6	0,080	0,123	162,25	Descarregamento				
420	7	0,080	0,123	162,25	3630		0,110	0,169	118,00
480	8	0,080	0,123	162,25	3660	61	0,110	0,169	118,00
540	9	0,090	0,139	144,22	3690		0,110	0,169	118,00
600	10	0,090	0,139	144,22	3720	62	0,110	0,169	118,00
660	11	0,100	0,154	129,80	3750		0,110	0,169	118,00
720	12	0,100	0,154	129,80	3780	63	0,110	0,169	118,00
780	13	0,110	0,169	118,00	3810		0,110	0,169	118,00
840	14	0,140	0,216	92,71	3840	64	0,110	0,169	118,00
900	15	0,140	0,216	92,71	3870		0,110	0,169	118,00
960	16	0,140	0,216	92,71	3900	65	0,110	0,169	118,00
1020	17	0,150	0,231	86,53	3960	66	0,110	0,169	118,00
1080	18	0,150	0,231	86,53	4020	67	0,110	0,169	118,00
1140	19	0,160	0,247	81,12	4080	68	0,110	0,169	118,00
1200	20	0,160	0,247	81,12	4140	69	0,110	0,169	118,00
1260	21	0,160	0,247	81,12	4200	70	0,110	0,169	118,00
1320	22	0,160	0,247	81,12	4260	71	0,110	0,169	118,00
1380	23	0,160	0,247	81,12	4320	72	0,110	0,169	118,00
1440	24	0,160	0,247	81,12	4380	73	0,100	0,154	129,80
1500	25	0,160	0,247	81,12	4440	74	0,100	0,154	129,80
1560	26	0,160	0,247	81,12	4500	75	0,100	0,154	129,80
Dados do CP			Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²			2,00	
M _{ar} (g)			1041,18	1035,78	Def _t (%)			0,277	
M _{imersa} (g)			528,3	520,13	Def _{vp} (%)			0,154	
d _{ap}			2,030	2,009	Def _{el} (%)			0,123	
D _m (mm)			101,3	102,56					
H _m (mm)			64,9	63,1	M _F (MPa)			129,80	
P _{agreg}			92,5	-					
P _b			7,5	-	Declividade Curva de Fluência				
D _t			2,346	-	210 - 2100			0,154	
V _v (%)			13,48	-	300 - 3000			0,154	
RBV (%)			51,68	-	360 - 3600			0,154	

PLANILHA DOS ENSAIOS DE CREEP ESTÁTICO

Mistura: areia-asfalto a frio com filler cimento

Teor de asfalto residual: 7,5%

Teor de umidade perdida: 22%

Número do CP: FC 10

Data: 07/03/2000

Tensão: 2,0 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,015	1304,00	1620	27	0,040	0,061	326,00
60	1	0,010	0,015	1304,00	1680	28	0,040	0,061	326,00
90		0,010	0,015	1304,00	1740	29	0,040	0,061	326,00
120	2	0,010	0,015	1304,00	1800	30	0,040	0,061	326,00
150		0,020	0,031	652,00	2100	35	0,040	0,061	326,00
180	3	0,020	0,031	652,00	2400	40	0,040	0,061	326,00
210		0,020	0,031	652,00	2700	45	0,040	0,061	326,00
240	4	0,020	0,031	652,00	3000	50	0,040	0,061	326,00
270		0,020	0,031	652,00	3300	55	0,040	0,061	326,00
300	5	0,020	0,031	652,00	3600	60	0,050	0,077	260,80
360	6	0,030	0,046	434,67	Descarregamento				
420	7	0,030	0,046	434,67	3630		0,030	0,046	434,67
480	8	0,030	0,046	434,67	3660	61	0,030	0,046	434,67
540	9	0,030	0,046	434,67	3690		0,030	0,046	434,67
600	10	0,030	0,046	434,67	3720	62	0,030	0,046	434,67
660	11	0,030	0,046	434,67	3750		0,030	0,046	434,67
720	12	0,040	0,061	326,00	3780	63	0,030	0,046	434,67
780	13	0,040	0,061	326,00	3810		0,020	0,031	652,00
840	14	0,040	0,061	326,00	3840	64	0,020	0,031	652,00
900	15	0,040	0,061	326,00	3870		0,020	0,031	652,00
960	16	0,040	0,061	326,00	3900	65	0,020	0,031	652,00
1020	17	0,040	0,061	326,00	3960	66	0,020	0,031	652,00
1080	18	0,040	0,061	326,00	4020	67	0,020	0,031	652,00
1140	19	0,040	0,061	326,00	4080	68	0,020	0,031	652,00
1200	20	0,040	0,061	326,00	4140	69	0,020	0,031	652,00
1260	21	0,040	0,061	326,00	4200	70	0,020	0,031	652,00
1320	22	0,040	0,061	326,00	4260	71	0,020	0,031	652,00
1380	23	0,040	0,061	326,00	4320	72	0,020	0,031	652,00
1440	24	0,040	0,061	326,00	4380	73	0,020	0,031	652,00
1500	25	0,040	0,061	326,00	4440	74	0,020	0,031	652,00
1560	26	0,040	0,061	326,00	4500	75	0,020	0,031	652,00
Dados do CP			Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²			2,00	
M _{ar} (g)			1041,96	1032,61	Def _i (%)			0,077	
M _{imersa} (g)			526,1	517,45	Def _{vp} (%)			0,031	
d _{ap}			2,020	2,004	Def _{el} (%)			0,046	
D _m (mm)			101,5	101,63					
H _m (mm)			65,2	64,18	M _F (MPa)			652,00	
P _{agreg}			92,5	-					
P _b			7,5	-	Declividade Curva de Fluência				
D _t			2,346	-	210 - 2100			0,031	
V _v (%)			13,92	-	300 - 3000			0,031	
RBV (%)			51,68	-	360 - 3600			0,031	

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

Mistura: Areia-asfalto a frio com *filler* britado

Teor de asfalto residual: 8,5%

Teor de umidade perdida: 43%

Número do CP: FB 11

Data: 05/03/2000

Tensão: 0,4 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,016	257,24	1620	27	0,31	0,482	8,30
60	1	0,020	0,031	128,62	1680	28	0,32	0,498	8,04
90		0,050	0,078	51,45	1740	29	0,32	0,498	8,04
120	2	0,060	0,093	42,87	1800	30	0,32	0,498	8,04
150		0,080	0,124	32,16	2100	35	0,33	0,513	7,80
180	3	0,090	0,140	28,58	2400	40	0,33	0,513	7,80
210		0,100	0,155	25,72	2700	45	0,34	0,529	7,57
240	4	0,110	0,171	23,39	3000	50	0,34	0,529	7,57
270		0,120	0,187	21,44	3300	55	0,34	0,529	7,57
300	5	0,130	0,202	19,79	3600	60	0,35	0,544	7,35
360	6	0,140	0,218	18,37	Descarregamento				
420	7	0,150	0,233	17,15	3630		0,3	0,466	8,57
480	8	0,160	0,249	16,08	3660	61	0,3	0,466	8,57
540	9	0,170	0,264	15,13	3690		0,29	0,451	8,87
600	10	0,180	0,280	14,29	3720	62	0,29	0,451	8,87
660	11	0,190	0,295	13,54	3750		0,28	0,435	9,19
720	12	0,200	0,311	12,86	3780	63	0,28	0,435	9,19
780	13	0,210	0,327	12,25	3810		0,28	0,435	9,19
840	14	0,220	0,342	11,69	3840	64	0,28	0,435	9,19
900	15	0,230	0,358	11,18	3870		0,28	0,435	9,19
960	16	0,240	0,373	10,72	3900	65	0,28	0,435	9,19
1020	17	0,250	0,389	10,29	3960	66	0,28	0,435	9,19
1080	18	0,260	0,404	9,89	4020	67	0,28	0,435	9,19
1140	19	0,270	0,420	9,53	4080	68	0,28	0,435	9,19
1200	20	0,270	0,420	9,53	4140	69	0,28	0,435	9,19
1260	21	0,280	0,435	9,19	4200	70	0,28	0,435	9,19
1320	22	0,280	0,435	9,19	4260	71	0,28	0,435	9,19
1380	23	0,290	0,451	8,87	4320	72	0,28	0,435	9,19
1440	24	0,300	0,466	8,57	4380	73	0,27	0,420	9,53
1500	25	0,310	0,482	8,30	4440	74	0,27	0,420	9,53
1560	26	0,310	0,482	8,30	4500	75	0,27	0,420	9,53
Dados do CP		Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²				0,4	
M _{ar} (g)		1053,45	1045,56	Def _i (%)				0,544	
M _{imersa} (g)		540,55	521,34	Def _{vp} (%)				0,420	
d _{ap}		2,054	1,995	Def _{el} (%)				0,124	
D _m (mm)		101,35	102,44						
H _m (mm)		64,31	62,98	M _F (MPa)				9,53	
P _{agreg} (%)		91,5	-						
P _b (%)		8,5	-	Declividade Curva de Fluência					
D _t (g/cm ³)		2,314	-	210 - 2100				0,358	
V _v (%)		11,23	-	300 - 3000				0,327	
RBV (%)		60,43	-	360 - 3600				0,327	

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTATICA

Mistura: Areia-asfalto a frio com *filler* britado

Teor de asfalto residual: 8,5%

Teor de umidade perdida: 43%

Número do CP: FB 12

Data: 05/03/2000

Tensão: 0,4 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,040	0,062	64,51	1620	27	0,300	0,465	8,60
60	1	0,050	0,078	51,61	1680	28	0,310	0,481	8,32
90		0,100	0,155	25,80	1740	29	0,310	0,481	8,32
120	2	0,120	0,186	21,50	1800	30	0,310	0,481	8,32
150		0,130	0,202	19,85	2100	35	0,320	0,496	8,06
180	3	0,140	0,217	18,43	2400	40	0,340	0,527	7,59
210		0,140	0,217	18,43	2700	45	0,360	0,558	7,17
240	4	0,150	0,233	17,20	3000	50	0,360	0,558	7,17
270		0,160	0,248	16,13	3300	55	0,370	0,574	6,97
300	5	0,170	0,264	15,18	3600	60	0,370	0,574	6,97
360	6	0,180	0,279	14,34	Descarregamento				
420	7	0,190	0,295	13,58	3630		0,290	0,450	13,79
480	8	0,200	0,310	12,90	3660	61	0,290	0,450	13,79
540	9	0,200	0,310	12,90	3690		0,290	0,450	13,79
600	10	0,210	0,326	12,29	3720	62	0,290	0,450	13,79
660	11	0,220	0,341	11,73	3750		0,280	0,434	14,29
720	12	0,220	0,341	11,73	3780	63	0,280	0,434	14,29
780	13	0,230	0,357	11,22	3810		0,270	0,419	14,81
840	14	0,230	0,357	11,22	3840	64	0,270	0,419	14,81
900	15	0,230	0,357	11,22	3870		0,270	0,419	14,81
960	16	0,250	0,388	10,32	3900	65	0,270	0,419	14,81
1020	17	0,250	0,388	10,32	3960	66	0,270	0,419	14,81
1080	18	0,260	0,403	9,92	4020	67	0,270	0,419	14,81
1140	19	0,270	0,419	9,56	4080	68	0,270	0,419	14,81
1200	20	0,280	0,434	9,22	4140	69	0,270	0,419	14,81
1260	21	0,290	0,450	8,90	4200	70	0,270	0,419	14,81
1320	22	0,290	0,450	8,90	4260	71	0,270	0,419	14,81
1380	23	0,300	0,465	8,60	4320	72	0,270	0,419	14,81
1440	24	0,300	0,465	8,60	4380	73	0,270	0,419	14,81
1500	25	0,300	0,465	8,60	4440	74	0,270	0,419	14,81
1560	26	0,300	0,465	8,60	4500	75	0,270	0,419	14,81
Dados do CP			Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²				0,4
M _{ar} (g)			1054,54	1048,03	Def _i (%)				0,574
M _{imersa} (g)			540,2	525,77	Def _{vp} (%)				0,419
d _{ap}			2,050	2,007	Def _{el} (%)				0,155
D _m (mm)			101,45	102,65					
H _m (mm)			64,51	63,02	M _F (MPa)				14,81
P _{agreg}			91,5	-					
P _b			8,5	-	Declividade Curva de Fluência				
D _t			2,314	-	210 - 2100				0,279
V _v (%)			11,39	-	300 - 3000				0,295
RBV (%)			60,05	-	360 - 3600				0,295

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTATICA

Mistura: Areia-asfalto a frio com *filler* britado

Teor de asfalto residual: 8,5%

Teor de umidade perdida: 43%

Número do CP: FB 13

Data: 05/03/2000

Tensão: 0,4 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,020	0,031	127,86	1620	27	0,33	0,516	7,75
60	1	0,030	0,047	85,24	1680	28	0,33	0,516	7,75
90		0,050	0,078	51,14	1740	29	0,34	0,532	7,52
120	2	0,060	0,094	42,62	1800	30	0,34	0,532	7,52
150		0,080	0,125	31,97	2100	35	0,37	0,579	6,91
180	3	0,090	0,141	28,41	2400	40	0,39	0,610	6,56
210		0,100	0,156	25,57	2700	45	0,42	0,657	6,09
240	4	0,110	0,172	23,25	3000	50	0,44	0,688	5,81
270		0,120	0,188	21,31	3300	55	0,45	0,704	5,68
300	5	0,130	0,203	19,67	3600	60	0,47	0,735	5,44
360	6	0,150	0,235	17,05	Descarregamento				
420	7	0,160	0,250	15,98	3630		0,42	0,657	6,09
480	8	0,170	0,266	15,04	3660	61	0,42	0,657	6,09
540	9	0,190	0,297	13,46	3690		0,42	0,657	6,09
600	10	0,200	0,313	12,79	3720	62	0,42	0,657	6,09
660	11	0,210	0,328	12,18	3750		0,42	0,657	6,09
720	12	0,220	0,344	11,62	3780	63	0,42	0,657	6,09
780	13	0,230	0,360	11,12	3810		0,42	0,657	6,09
840	14	0,240	0,375	10,66	3840	64	0,42	0,657	6,09
900	15	0,250	0,391	10,23	3870		0,42	0,657	6,09
960	16	0,260	0,407	9,84	3900	65	0,41	0,641	6,24
1020	17	0,260	0,407	9,84	3960	66	0,41	0,641	6,24
1080	18	0,270	0,422	9,47	4020	67	0,41	0,641	6,24
1140	19	0,280	0,438	9,13	4080	68	0,41	0,641	6,24
1200	20	0,280	0,438	9,13	4140	69	0,41	0,641	6,24
1260	21	0,290	0,454	8,82	4200	70	0,41	0,641	6,24
1320	22	0,300	0,469	8,52	4260	71	0,41	0,641	6,24
1380	23	0,300	0,469	8,52	4320	72	0,41	0,641	6,24
1440	24	0,310	0,485	8,25	4380	73	0,41	0,641	6,24
1500	25	0,320	0,501	7,99	4440	74	0,41	0,641	6,24
1560	26	0,320	0,501	7,99	4500	75	0,41	0,641	6,24
Dados do CP				Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²			0,4
M _{ar} (g)				1043,11	1031,12	Def _i (%)			0,735
M _{imersa} (g)				533,7	518,73	Def _{vp} (%)			0,641
d _{ap}				2,048	2,012	Def _{el} (%)			0,094
D _m (mm)				101,6	102,83				
H _m (mm)				63,93	62,33	M _F (MPa)			6,24
P _{agreg}				91,5	-				
P _b				8,5	-	Declividade Curva de Fluência			
D _t				2,314	-	210 - 2100			0,422
V _v (%)				11,5	-	300 - 3000			0,485
RBV (%)				59,79	-	360 - 3600			0,501

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

Mistura: Areia-asfalto a frio com filler britado

Teor de asfalto residual: 8,5%

Teor de umidade perdida: 43%

Número do CP: FB 14

Data: 05/03/2000

Tensão: 0,4 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,016	254,20	1620	27	0,400	0,629	6,36
60	1	0,020	0,031	127,10	1680	28	0,410	0,645	6,20
90		0,040	0,063	63,55	1740	29	0,420	0,661	6,05
120	2	0,050	0,079	50,84	1800	30	0,430	0,677	5,91
150		0,070	0,110	36,31	2100	35	0,490	0,771	5,19
180	3	0,080	0,126	31,78	2400	40	0,560	0,881	4,54
210		0,090	0,142	28,24	2700	45	0,630	0,991	4,03
240	4	0,100	0,157	25,42	3000	50	0,720	1,133	3,53
270		0,110	0,173	23,11	3300	55	0,860	1,353	2,96
300	5	0,120	0,189	21,18	3600	60	1,070	1,684	2,38
360	6	0,130	0,205	19,55	Descarregamento				
420	7	0,150	0,236	16,95	3630		1,010	1,589	2,52
480	8	0,170	0,268	14,95	3660	61	1,010	1,589	2,52
540	9	0,180	0,283	14,12	3690		1,010	1,589	2,52
600	10	0,200	0,315	12,71	3720	62	1,010	1,589	2,52
660	11	0,210	0,330	12,10	3750		1,010	1,589	2,52
720	12	0,220	0,346	11,55	3780	63	1,010	1,589	2,52
780	13	0,240	0,378	10,59	3810		1,010	1,589	2,52
840	14	0,250	0,393	10,17	3840	64	1,010	1,589	2,52
900	15	0,260	0,409	9,78	3870		1,000	1,574	2,54
960	16	0,270	0,425	9,41	3900	65	1,000	1,574	2,54
1020	17	0,280	0,441	9,08	3960	66	1,000	1,574	2,54
1080	18	0,290	0,456	8,77	4020	67	1,000	1,574	2,54
1140	19	0,300	0,472	8,47	4080	68	1,000	1,574	2,54
1200	20	0,310	0,488	8,20	4140	69	1,000	1,574	2,54
1260	21	0,330	0,519	7,70	4200	70	1,000	1,574	2,54
1320	22	0,340	0,535	7,48	4260	71	1,000	1,574	2,54
1380	23	0,350	0,551	7,26	4320	72	1,000	1,574	2,54
1440	24	0,360	0,566	7,06	4380	73	1,000	1,574	2,54
1500	25	0,370	0,582	6,87	4440	74	1,000	1,574	2,54
1560	26	0,380	0,598	6,69	4500	75	1,000	1,574	2,54
Dados do CP		Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²					0,4
M _{ar} (g)		1039,41	1027,82	Def _t (%)					1,684
M _{imersa} (g)		532,55	506,17	Def _{vp} (%)					1,574
d _{ap}		2,051	1,970	Def _{el} (%)					0,110
D _m (mm)		101,28	104						
H _m (mm)		63,55	61,2	M _F (MPa)					2,54
P _{agreg}		91,5	-						
P _b		8,5	-	Declividade Curva de Fluência					
D _t		2,314	-	210 - 2100					0,629
V _v (%)		11,37	-	300 - 3000					0,944
RBV (%)		60,1	-	360 - 3600					1,479

ENSAIO DE FLUÊNCIA POR COMPRESSÃO UNIAXIAL ESTÁTICA

Mistura: Areia-asfalto a frio com *filler* britado

Teor de asfalto residual: 8,5%

Teor de umidade perdida: 43%

Número do CP: FB 15

Data: 05/03/2000

Tensão: 0,4 kgf/cm²

Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)	Tempo		D _h (mm)	D rel (%)	M _F (Mpa)
Seg	Min				Seg	Min			
30		0,010	0,016	254,24	1620	27	0,470	0,739	5,41
60	1	0,030	0,047	84,75	1680	28	0,480	0,755	5,30
90		0,050	0,079	50,85	1740	29	0,490	0,771	5,19
120	2	0,070	0,110	36,32	1800	30	0,500	0,787	5,08
150		0,090	0,142	28,25	2100	35	0,570	0,897	4,46
180	3	0,100	0,157	25,42	2400	40	0,650	1,023	3,91
210		0,120	0,189	21,19	2700	45	0,730	1,149	3,48
240	4	0,130	0,205	19,56	3000	50	0,830	1,306	3,06
270		0,140	0,220	18,16	3300	55	0,960	1,510	2,65
300	5	0,150	0,236	16,95	3600	60	1,210	1,904	2,10
360	6	0,170	0,267	14,96	Descarregamento				
420	7	0,190	0,299	13,38	3630		1,140	1,794	2,23
480	8	0,210	0,330	12,11	3660	61	1,130	1,778	2,25
540	9	0,230	0,362	11,05	3690		1,130	1,778	2,25
600	10	0,250	0,393	10,17	3720	62	1,130	1,778	2,25
660	11	0,260	0,409	9,78	3750		1,130	1,778	2,25
720	12	0,280	0,441	9,08	3780	63	1,130	1,778	2,25
780	13	0,290	0,456	8,77	3810		1,130	1,778	2,25
840	14	0,310	0,488	8,20	3840	64	1,130	1,778	2,25
900	15	0,320	0,503	7,94	3870		1,120	1,762	2,27
960	16	0,330	0,519	7,70	3900	65	1,120	1,762	2,27
1020	17	0,350	0,551	7,26	3960	66	1,120	1,762	2,27
1080	18	0,360	0,566	7,06	4020	67	1,120	1,762	2,27
1140	19	0,370	0,582	6,87	4080	68	1,120	1,762	2,27
1200	20	0,380	0,598	6,69	4140	69	1,120	1,762	2,27
1260	21	0,390	0,614	6,52	4200	70	1,120	1,762	2,27
1320	22	0,410	0,645	6,20	4260	71	1,120	1,762	2,27
1380	23	0,420	0,661	6,05	4320	72	1,120	1,762	2,27
1440	24	0,430	0,677	5,91	4380	73	1,120	1,762	2,27
1500	25	0,440	0,692	5,78	4440	74	1,120	1,762	2,27
1560	26	0,460	0,724	5,53	4500	75	1,120	1,762	2,27
Dados do CP			Antes	Depois	Tensão do ensaio kgf/cm ²				0,4
M _{ar} (g)			1045,79	1033,15	Def _t (%)				1,904
M _{imersa} (g)			539,1	510,49	Def _{vp} (%)				1,762
d _{ap}			2,064	1,977	Def _{el} (%)				0,142
D _m (mm)			101,3	104,53					
H _m (mm)			63,56	61,28	M _F (MPa)				2,27
P _{agreg}			91,5	-					
P _b			8,5	-	Declividade Curva de Fluência				
D _t			2,314	-	210 - 2100				0,708
V _v (%)			10,8	-	300 - 3000				1,070
RBV (%)			61,49	-	360 - 3600				1,636