

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

ESTUDO SOBRE ADIÇÃO DE POLÍMERO
EM AREIA-ASFALTO A FRIO

Márcio Albuquerque Silveira

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Transportes.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória

São Carlos - SP
Março/1999

Para Heitor e Zélia,

“...Tu és o arco do qual teus filhos são
arremessados como flechas vivas.
Que teu encurvamento na mão do
arqueiro seja tua alegria”

Khalil Gibran

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Manoel Henrique Alba Sória pela orientação para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao prof. Dr. Glauco Túlio Pessa Fabbri, pelas sugestões e críticas, e ao colega Cláudio Taira pela grande ajuda na parte experimental.

A todos amigos e funcionários do STT pelos dois anos de convivência e amizade que transformaram este período numa gratificante experiência de vida.

Ao Prof. Dr. Ernesto Nobre Jr. e Eng. João Augusto Paiva pelo apoio e incentivo antes mesmo do início deste mestrado.

Aos laboratoristas Gigante, Morasco e Oliveira pela ajuda e ambiente divertido no trabalho de laboratório.

Ao Geólogo Francisco Quirino e Eng. Franklin Chaves, do DERT, pelo material cedido e informações prestadas.

À Ipiranga Asfaltos S.A., pela emulsão asfáltica convencional e emulsão asfáltica modificada com polímero cedidas para a pesquisa.

Ao CNPq pelo apoio financeiro, sem o qual o desenvolvimento desta pesquisa não teria sido possível.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE EQUAÇÕES.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVO	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	2
2. ANÁLISE DOS REVESTIMENTOS DA MALHA RODOVIÁRIA ESTADUAL CEARENSE.....	4
2.1 CONDIÇÕES AMBIENTAIS	4
2.2 DADOS DE DESEMPENHO ANALISADOS.....	9
2.2.1 DESCRIÇÃO DOS ÍNDICES ANALISADOS	10
2.3 ANÁLISE DOS DADOS.....	12
2.4 CONCLUSÃO.....	18
3. O USO DE AREIA-ASFALTO, EMULSÃO E POLÍMERO EM PAVIMENTAÇÃO.	19
3.1 AREIA-ASFALTO	19
3.1.1 HISTÓRICO	19
3.2 POLÍMERO	29
3.2.1 HISTÓRICO	31
3.3 EMULSÃO ASFÁLTICA	33
3.3.1 HISTÓRICO	34
3.3.2 DISCUSSÃO SOBRE MÉTODOS DE DOSAGEM	35
3.4 DEFORMAÇÃO PERMANENTE E DESGASTE EM AREIA-ASFALTO A FRIO	39
3.4.1 DEFORMAÇÃO PERMANENTE	39
a) INFLUÊNCIA DA DIMENSÃO DOS AGREGADOS	41
b) INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA	43
3.4.2 DESGASTE	44
4. MATERIAIS UTILIZADOS	46
4.1 AREIA	46
4.2 FAIXA GRANULOMÉTRICA	51
4.3 EMULSÃO MODIFICADA COM POLÍMERO	53
4.4 EMULSÃO ASFÁLTICA CONVENCIONAL.....	54
5. MÉTODO EXPERIMENTAL.....	55
5.1 PREPARAÇÃO DA AREIA	55
5.2 PREPARAÇÃO DA EMULSÃO	55
5.3 DOSAGEM DAS MISTURAS	57

5.4	CORPOS DE PROVA	62
5.5	ENSAIOS	63
5.5.1	CREEP DINÂMICO E ESTÁTICO	63
5.5.2	CANTABRO	68
6.	RESULTADOS OBTIDOS	70
6.1	ENSAIO DE DESGASTE CANTABRO	70
6.1.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO CANTABRO	73
6.1.2	ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS RESULTADOS.....	73
6.2	CREEP DINÂMICO	75
6.2.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE CREEP DINÂMICO	80
6.3	CREEP ESTÁTICO	81
6.3.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE CREEP ESTÁTICO	85
7.	CONCLUSÕES.....	87
7.1	CONCLUSÕES.....	87
7.2	SUGESTÕES	89
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
	ANEXO	97

LISTA DE FIGURAS

Figura.2.1: Pluviometria do estado em milímetros por ano.....	6
Figura 2.2: Clima do estado pela classificação Köppen.....	7
Figura 2.3: Distribuição de temperatura para o mês mais quente.....	8
Figura 2.4: Distribuição percentual de QI dos revestimentos.....	16
Figura 2.5: Distribuição percentual de IGG dos revestimentos.....	17
Figura 3.1: Limites para "sheet-asphalt" e areia-asfalto (ASTM D3515).....	23
Figura 3.2: Usina de Areia-asfalto a frio usada pelo DERT.....	26
Figura 3.3: Espalhamento de AAUF para restauração de um trecho.....	27
Figura 3.4: Revestimento de areia-asfalto em bom estado.....	27
Figura 3.5: Recapeamento de AAUF defeituoso	28
Figura 3.6: Detalhe do afundamento no recapeamento defeituoso.....	28
Figura 3.7: Esquema de produção de emulsão.....	33
Figura 3.8: Efeito da cura ao ar no módulo de resiliência.....	36
Figura 3.9: Comparação entre cura em estufa e cura à temperatura ambiente.....	38
Figura 3.10: Influência do modo de cura na umidade retida.....	38
Figura 3.11: Modelos de desenvolvimento de trilha de roda.....	40
Figura 4.1 - Curva granulométrica do material bruto.....	47
Figura 4.2 - Curva granulométrica do material sem agregado graúdo.....	48
Figura 4.3 : Grãos da areia do rio Acarau com diâmetro entre 4,76 e 2 mm.....	50
Figura 4.4: Curva granulométrica utilizada.....	52
Figura 5.1: Esquema de trabalho seguido.....	56
Figura 5.2 : Resultado da dosagem Marshall.....	60
Figura 5.3: Estágios do ensaio creep	66
Figura 5.4: Equipamento utilizado para os ensaios.....	67
Figura 6.1: Resultado do ensaio Cantabro - RL - 1C.....	71

Figura 6.2: Resultado do ensaio Cantabro - Emulex.....	72
Figura 6.3: Resultado do ensaio Cantabro	72
Figura 6.4: Resultado de creep dinâmico - RL - 1C - Teor de 5,75%.....	75
Figura 6.5: Resultado de creep dinâmico - RL - 1C -Teor de 6,50%.....	76
Figura 6.6: Resultado de creep dinâmico - RL - 1C -Teor de 7,25%.....	76
Figura 6.7: Resultado de creep dinâmico - Emulex - Teor de 5,75%.....	77
Figura 6.8: Resultado de creep dinâmico - Emulex -Teor de 6,50%.....	77
Figura 6.9: Resultado de creep dinâmico - Emulex -Teor de 7,25%.....	78
Figura 6.10: Resultado de creep dinâmico -RL - 1C.....	78
Figura 6.11: Resultado de creep dinâmico - Emulex.....	79
Figura 6.12: Resultado de creep dinâmico	79
Figura 6.13: Resultado de creep estático - RL - 1C - Teor de 5,75%.....	81
Figura 6.14: Resultado de creep estático - RL - 1C -Teor de 6,50%.....	82
Figura 6.15: Resultado de creep estático - RL - 1C - Teor de 7,25%.....	82
Figura 6.16: Resultado de creep estático - Emulex-teor 5,75%	83
Figura 6.17: Resultado de creep estático - Emulex - teor 6,50%	83
Figura 6.18: Resultado de creep estático - Emulex - teor 7,25%	84
Figura 6.19: Resultado de creep estático - RL - 1C - Todos os teores	84
Figura 6.20: Resultado de creep estático - Emulex -Todos os teores	85

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 5.1 : Fórmula de Vogt.....	57
Equação 5.2 : Segunda fórmula de Duriez.....	58
Equação 5.3 : Valor percentual do desgaste.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Distribuição por tipo de revestimento.....	9
Tabela 2.2: Faixa de variação do QI	11
Tabela 2.3: Faixa de variação do IGG.....	11
Tabela 2.4: Características médias dos trechos estudados.....	12
Tabela 2.5: Características médias dos trechos com entre 10^3 e 10^6 solicitações...	13
Tabela 2.6 : Distribuição percentual por conceito de QI.....	14
Tabela 2.7 : Distribuição percentual por conceito de IGG.....	15
Tabela 3.1: Distribuição granulométrica do "sheet asphalt".....	20
Tabela 4.1 - Distribuição granulométrica do material bruto.....	47
Tabela 4.2 - Distribuição granulométrica sem agregado graúdo.....	48
Tabela 4.3: Distribuição percentual nas peneiras 80 e 200.....	49
Tabela 4.4: Distribuição percentual do filler.....	49
Tabela 4.5 : Esfericidade e Arredondamento das areias.....	51
Tabela 4.6 : Características dos materiais utilizados.....	51
Tabela 4.7 : Distribuição granulométrica utilizada.....	52
Tabela 4.8: Limites da faixa "C" do DERT.....	53
Tabela 4.9: Especificações da emulsão modificada com polímero.....	53
Tabela 4.10: Especificações da emulsão RL-1C.....	54
Tabela 5.1 : Resultado da dosagem - Emulex.....	59
Tabela 5.2 : Resultado da dosagem - RL - 1C.....	59
Tabela 5.3: Distribuição de corpos de prova.....	63
Tabela 5.4 : Tempos de carga e ciclo de alguns trabalhos consultados.....	65
Tabela 6.1 : Resultado do ensaio Cantabro - RL - 1C.....	70
Tabela 6.2 : Resultado do ensaio Cantabro - Emulex.....	71
Tabela 6.3: Quadro da análise de variância do teor 5,75%.....	74

Tabela 6.4: Quadro da análise de variância do teor 6,50%.....	74
Tabela 6.5: Quadro da análise de variância do teor 7,25%.....	74
Tabela A1: Resultado do ensaio Marshall - Emulex.....	98
Tabela A2: Resultado do ensaio Marshall - RL - 1C.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS

AAUF	- Areia-Asfalto Usinada a Frio
AAUQ	- Areia-Asfalto Usinada a Quente
ASTM	- American Society of Testing Materials
CAP	- Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	- Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CP	- Corpo de Prova
d	- Densidade aparente
D	- Densidade máxima teórica
DERT	- Departamento de Edificações Rodovias e Transportes
DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
E	- Estabilidade
EA	- Emulsão Asfáltica
EESC	- Escola de Engenharia de São Carlos
f	- Fluência
FUNCEME	- Fundação Cearense de Meteorologia
IBP	- Instituto Brasileiro de Petróleo
IGG	- Índice de Gravidade Global
QI	- Quociente de Irregularidade
RBV	- Relação Betume Vazios
TR	- Flecha em Trilha de Roda
TSD	- Tratamento Superficial Duplo
USP	- Universidade de São Paulo
VAM	- Volume de vazios no Agregado Mineral
Vb	- Volume de Betume
Vv	- Volume de Vazios

RESUMO

O revestimento de areia-asfalto a frio, ainda que pouco utilizado, é uma alternativa importante para construção de rodovias de baixo volume de tráfego no Estado do Ceará. Neste trabalho é apresentado estudo comparativo entre misturas de areia-asfalto fabricadas a frio com a utilização de emulsão asfáltica convencional e emulsão modificada com polímero. O objetivo da pesquisa é avaliar, através de ensaios de creep dinâmico, creep estático e o ensaio de desgaste Cantabro, se o uso da emulsão modificada com polímero resulta em uma mistura de areia-asfalto a frio mais resistente ao desgaste e à deformação permanente. As misturas asfálticas analisadas nesta pesquisa apresentaram boa resistência ao desgaste, mas em virtude das dificuldades ocorridas nos ensaios de creep não foram encontradas evidências de que o uso de emulsão modificada com polímero produzisse uma mistura de areia-asfalto a frio mais resistente.

ABSTRACT

Cold sand-asphalt surface layer, although not widely used, is an important alternative for construction of low traffic roads in Ceará State. This work presents a comparative study between cold sand-asphalt mixtures produced with standart asphaltic emulsion and polymer modified emulsion. The aim of this research is to evaluate, with use of dynamic and static creep tests and the Cantabro wear out test, if the use of a polymer modified emulsion would result in a cold sand-asphalt mixture more resistant to wear out and permanent deformation. The asphaltic mixes analyzed in this research presented high wear out resistance, but due to difficulties occurred in creep tests there were not found evidences that the use of polymer modified emulsion would produce a more resistant cold sand-asphalt mixture.