

O USO DE ESCÓRIA DE MANGANÊS NAS CAMADAS DE BASE E MISTURAS ASFÁLTICAS (CBUQ)¹

*Eudier Antonio da Silva²
Maria Antonina Magalhães Coelho³
Eudier Antonio da Silva Júnior⁴*

Resumo

Neste estudo é feita a caracterização e aplicação da escória bruta de manganês britada nas camadas de base e misturas asfálticas (CBUQ). A escória bruta de manganês deste estudo é produzida pela SIBRA Eletrosiderúrgica Brasileira S/A, localizada em Salvador-BA. É produzida em diâmetros variáveis de até 2,0 metros que, após resfriada é britada, tendo como produto final uma bica corrida que pode ser usada como camada de base, podendo ser pura ou misturada com argila. Nesta britagem obtém-se, em separado, o pó, a brita zero e a brita 1 que podem ser utilizados na produção de massa asfáltica (CBUQ). Foram realizados ensaios de caracterização para sua aplicação como agregado. A escória bruta de manganês apresentou dados técnicos compatíveis para sua aplicação como base e misturas asfálticas para pavimentos, tais como, abrasão Los Angeles, boa adesividade para CAP e emulsões, isento de impurezas e equivalente de areia, estando de acordo com os requisitos das normas do DNIT-ES-P – 0303/1997 e 031/2004, tendo também como fator importante, não apresentar expansão volumétrica.

Palavras-chave: Escória de manganês; Misturas asfálticas; Agregados.

MANGANESE AIR-COOLED BLAST FURNACE SLAG USED AS AGGREGATES IN BASE LAYER FOR ROADS AND ASPHALT MIXTURES

Abstract

In this study is made the characterization and it is shown the asphalt the application of manganese slag in base layers and asphalt mixtures. SIBRA Brazilian Eletrosiderúrgica S/A, located in Salvador-BA, produces the manganese slag used in this study. Manganese air-cooled blast furnace slag can be used as coarse aggregate after its original diameter (up to 2,0 meters) is broken in to diameters commonly used in base layer for roads, alone or mixed with clay. Aggregate with its particle size ranging from 0 mm up to 9.5 mm and to 19.0 mm can also be used in asphalt mixtures. Chemical and physical characterization had been carried out and manganese slag presented compatible properties for its application in base layers and asphalt mixtures, such as, abrasion, good adhesively on asphalt and emulsions, presents sand equivalence and no impurities, being in accordance with the requirements of DNIT-ES - 0303/1997 and 031/2004 standards, also having as important factor, not presenting volumetric expansion.

Key words: Manganese slag; Asphalt mixtures; Aggregates.

¹ *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

² *Eng. Civil, Prof. da UCL, Consultor Técnico, Membro do The Pan American Institute Of Highways,*

³ *MCs, Profa. no curso de Arquitetura da UNIVIX e Profa. no curso de Eng. de Produção Civil da UCL-Faculdade do Centro Leste,*

⁴ *Graduando do curso de Engenharia de Produção Civil da UCL, Estagiário Consulpavi Projetos e Consultoria LTDA.*

1 INTRODUÇÃO

A Escória de Manganês é produzida em altos-fornos pela Rio Doce Manganês (RDM), antiga SIBRA Eletro Siderúrgica S/A em Simões Filho, Bahia. A RDM é a maior planta de ferroligas da América Latina, com 45 mil metros quadrados, e a maior produtora de ferroligas de manganês (matéria-prima do aço) do Brasil, gerando mais de dois mil empregos diretos e indiretos.⁽¹⁾

A Escória de Alto-Forno de Manganês em seu estado original apresenta diâmetros variados e, levada para uma central de britagem e separada por granulometrias variadas é utilizada como agregado em substituição aos agregados pétreos naturais. Este estudo tem por finalidade a utilização da Escória de Alto-Forno de Manganês como camada de Sub-base, Base e Misturas Asfálticas a Quente (CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente).

A utilização da escória tem repercussão na sociedade no que diz respeito aos benefícios ambientais como a redução do volume escavado de jazidas para a produção de agregados e, conseqüentemente, a diminuição da degradação da camada vegetal; a redução da utilização de explosivos que geram partículas em suspensão no ar; a diminuição de áreas necessárias ao descarte de resíduos industriais. Os benefícios financeiros são importantes, principalmente em órgãos públicos, cujos recursos se apresentam cada vez mais escassos, para fazer frente à totalidade das obras viárias a serem implantadas ou conservadas, tornando-se necessários esforços conjuntos da iniciativa privada e pública na adoção de técnicas de custos reduzidos para que a administração pública possa ter mais obras executadas e um custo menor.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A escória de alto-forno bruta de manganês, após sua britagem, apresenta granulometria para se obter a Bica corrida (diâmetro de 0 a 1 1/4”) e para o CBUQ obtém-se o pó da escória, a Brita 0, a Brita 1, os quais podem ser dosados de forma a atender à norma do DNIT para agregados como pode ser observado na Figura 1, onde a escória está sendo britada e peneirada e apresentada nas diferentes granulometrias como mostrado nas Figuras 2 e 3.



Figura 1 – Escória de alto-forno de manganês bruta e **Figura 1b** sendo britada e separada por peneiras em granulometrias diferentes.



Figuras 2 e 3 – Escória de alto-forno de manganês já peneirada em granulometrias diferentes.

A análise química da escória de alto-forno de manganês está na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química (valores médios de 10 amostras) da escória de alto-forno de manganês.

Mn	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cão	BaO	Umidade
12,5%	1,05%	37,16%	25,12%	9,16%	2,7	0,30

Laboratório Físico-químico Neoligas de Volta Redonda, Reg. 426/2004.

O ensaio de expansão volumétrica foi realizado segundo a ASTM C 1260/5⁽²⁾ cujo resultado apresentou em 14 dias uma expansão de 0,04% e a escória de aciaria foi caracterizada como agregado inerte, já que o índice máximo preconizado por esta norma é de 0,10%.

O pó de pedra (pedrisco) é proveniente da britagem da escória de alto-forno de manganês usado como agregado. Apresenta diâmetros menores do que 3/16”.

O filer calcário é necessário em função da exigência de se ter de 3 a 5% de material que fica retido na peneira 200 (0,075mm), complementando a parte fina não contida na escória.

O CAP – 20 (hoje CAP 50/70) foi utilizado neste trabalho em função de apresentar um comportamento melhor com relação à adesividade para o clima no local de aplicação.

A caracterização dos materiais como a granulometria, a densidade real e solta e o equivalente de areia estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Granulometria, densidade real e solta e equivalente de areia dos agregados.

Peneiras - -	Escória 1 ½”	Escória ¾”	Escória 0 – ½”	Brita – 1 7/8”	Pedrisco Com Pó	Filler Calcário
Pen. 1 ½”	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pen. 1”	79,3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Pen. ¾”	25,5	100,0	100,0	67,0	100,0	100,0
Pen. ½”	00,7	34,6	100,0	03,6	100,0	100,0
Pen. 3/8”	00,2	03,3	100,0	01,8	100,0	100,0
Pen. 4	00,2	00,9	74,4	01,2	89,8	100,0
Pen. 10	00,2	00,2	47,2	00,8	62,2	100,0
Pen. 40	00,2	00,2	21,7	00,5	25,9	100,0
Pen. 80	00,2	00,2	11,6	00,3	14,8	100,0
Pen. 200	00,1	00,1	04,6	00,2	07,2	94,0
Dens. Real	2,954	2,940	2,940	2,775	2,770	2,766
Dens. Solta	1,685	1,636	1,738	1,671	1,671	1,224
EQ. de Areia	-	-	72,25 %	-	64,46 %	-

Fonte: Consulpavi.

Para cada camada a ser executada foram usados percentuais de cada um dos materiais para atenderem às exigências de granulometria do DNIT segundo a norma DNER ES 313/97 ⁽³⁾, compondo os Traços A, 01 e 02, que estão de acordo com as Faixas A, B e C da norma. Vale salientar que quando da execução desta obra a norma vigente era do DNER ES-P – 0313/1997, ⁽³⁾ que corresponde hoje à DNIT 031/2004. ⁽⁴⁾

Os ensaios de densidades foram realizados segundo a mesma norma.

Os ensaios de Índice de Forma dos agregados foram realizados segundo o método ME 086/94, ⁽⁵⁾ e deve ser maior do que 0,5, segundo a mesma norma.

O ensaio de Abrasão Los Angeles atendeu à metodologia segundo ME 035/98, ⁽⁶⁾ antiga ME – DNER - 078/94

O ensaio de Equivalente de Areia foi realizado segundo o método ME 054/97. ⁽⁷⁾

Os corpos de prova dos Traços foram moldados segundo o Método Marshall: ME-043/95 ⁽⁸⁾ com 75 golpes de cada lado do corpo-de-prova.

A temperatura de moldagem dos corpos-de-prova para os diferentes traços foi de:

Traço – A Faixa – A : 150° C.

Traço – 01 Faixa – B: 153° C.

Traço – 02 Faixa – C: 155° C.

Os agregados foram aquecidos a 165° - 170° C, o CAP – 20 a 150° C.

A temperatura de compactação da Massa Asfáltica espalhada na pista deverá ter início com a temperatura mais alta que o material suportar sem apresentar trincas, escorregamento ou deformação, normalmente em torno de 140° C, temperatura esta que deve ser adotada na moldagem dos corpos-de-prova da mistura asfáltica produzida para se ter simetria de densidades, campo x laboratório.

Todo Carregamento de CAP que chegar à obra deverá ser ensaiado à Viscosidade Saybolt Furol (SSF) para liberação do produto e controle de temperatura na usina para produção do CBUQ.

O traços A (Faixa – A) com 4,4 % de CAP - 20 e o Traço 01 (Faixa – B) com 5,3 % de CAP – 20 para Capa Asfáltica foram realizados com 2 Pontos Marshall cada, 3 corpos-de-prova para cada ponto em torno do teor de Betume Ótimo calculado.

A moldagem dos corpos-de-prova para os ensaios de densidade, teor de CAP – 20, IV (Índice de Vazios), VCB (Vazio Cheio de Betume), VAM (Vazio Agregado Mineral), RBV (Resíduo Betume Vazio), Estabilidade e Fluência das misturas CBUQ devem ser com 75 golpes e em número de 03 corpos-de-prova por Ponto.

3 RESULTADOS

A Tabela 3 mostra o percentual de cada material utilizado para compor o Traço A, o Traço 01 e o Traço 02.

Tabela 3 – Percentuais dos agregados no Traço A, Traço 01 e Traço 02.

Traço N° Faixa - DNER	Traço – A Faixa – A		Traço – 01 Faixa – B		Traço – 02 Faixa – C	
	Inicial	% Final	Inicial	% Final	Inicial	% Final
Escória 1 ½"	25,0	23,90	- -	- -	- -	- -
Escória 3/4"	20,0	19,12	30,0	28,41	13,0	12,25
Escória 0 - 1/2"	55,0	52,58	50,0	47,35	43,0	40,55
Pedrisco c/ Pó	- -	- -	20,0	18,94	42,0	39,60
Filler Calcário	- -	- -	- -	- -	02,0	01,88
CAP – 20	- -	4,40	- -	5,30	- -	05,70
Soma %	100,0	100,00	100,0	100,00	100,0	100,00

Fonte: Consulpavi.

Como se pode observar na Tabela 3, o Traço A usou agregados mais graúdos com menor percentual de CAP e assim gradativamente, materiais mais finos e maior consumo de CAP em função da diminuição do diâmetro dos agregados, como se pode, também, observar nos Traços 01 e 02.

Foram realizados ensaios para determinação das densidades, de cada traço, do material pétreo seco, mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – Densidades dos Traços A, 01 e 02.

Densidades	Traço – A : FX- A	Traço - 01 : FX- B	Traço - 02 : FX- C
Real (g/cm ³)	2,945	2,908	2,866
Teórica (g/cm ³)	2,721	2,652	2,603
Ponto Ótimo (g/cm ³)	2,577	2,553	2,503
Apar. Solta (g/cm ³)	1,750	1,740	1,730

Fonte: Consulpavi.

Para as misturas CBUQ dos Traços A, 01 e 02 foram usados percentuais de CAP-20 obtendo-se as densidades apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Densidades para misturas com diferentes percentuais de CAP-20.

Densidade dos Traços	3,5 % CAP	4,0 % CAP	4,5 % CAP	5,0 % CAP	5,5 % CAP	6,0 % CAP	6,5 % CAP	7,0 % CAP
T- A : FX- A	2,763	2,738	2,714	2,691	-	-	-	-
T- 01: FX- B	-	-	2,689	2,667	2,645	2,623	-	-
T- 02: FX- C	-	-	-	2,633	2,612	2,591	2,570	2,550

Fonte: Consulpavi.

O índice de forma da escória de alto-forno de manganês apresentou os resultados que se encontram na Tabela 6.

Tabela 6 - Índice de forma da escória de alto-forno de manganês.

Graduação	Índice de forma (F)
B	0,851
C	0,840
D	0,746
Média	0,812

Fonte: Consulpavi.

O resultado dos ensaios de Abrasão Los Angeles da escória de alto-forno de manganês está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 - Abrasão Los Angeles da escória de alto-forno de manganês.

Escória de alto-forno manganês	Escória 1
Peso da Amostra	5,000 Kg
Retido Peneira N° 12 (após ensaio)	3,786 Kg
Passando Peneira N° 12 (após ensaio)	1,214 Kg
Desgaste por Abrasão	24,28 %

Fonte: Consulpavi.

O resultado dos ensaios de Adesividade CAP/agregado da escória de alto-forno de manganês está apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 - Adesividade CAP/agregado da escória de alto-forno de manganês.

Com CAP – 20 sem Doping	98 % Satisfatória
Com CAP – 20 com Doping	100% Satisfatória

Fonte: Consulpavi.

O resultado do ensaio de Equivalente de Areia está apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultado do ensaio de Equivalente de Areia

Escória alto-forno Manganês	1ª Moldagem	2ª Moldagem
Leitura do Topo Suspenso	10,45	09,90
Leitura do Topo Areia	07,50	07,20
Equivalente de Areia %	71,77	72,73
Equivalente de Areia - Média %	72,25	

Fonte: Consulpavi.

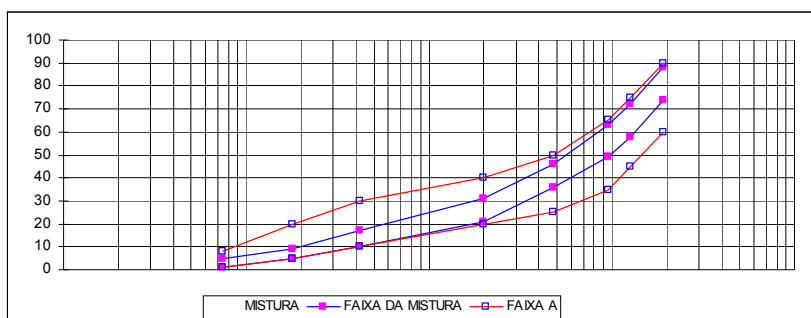
O resultado do CBUQ do Traço A (Faixa A) para capa com escória de alto-forno de manganês está apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultado do CBUQ do Traço A (Faixa A) para capa.

Ensaio	1ª Moldagem	2ª Moldagem
Densidade Real (kg/dm ³)	2,945	2,945
Densidade Teórica (kg/dm ³)	2,724	2,721
Densidade AP Cps (kg/dm ³)	2,570	2,577
% CAP – 20	4,30	4,37
% Vazios	5,65	5,28
V.C.B.	10,83	11,04
VAM	16,48	16,32
RBV	65,72	67,65
Estabilidade	620	746
Fluência	3,97	3,97

Fonte: Consulpavi.

A curva granulométrica da mistura do Traço A (Faixa A) utilizada no 1º. corpo-de-prova está apresentada na Figura 4.



Fonte: Consulpavi.

Figura 4 - Curva granulométrica da mistura CBUQ do Traço A (Faixa A).

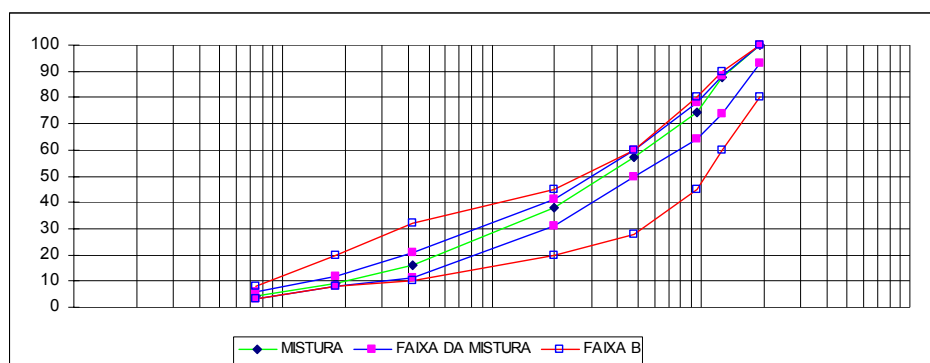
O resultado do CBUQ do Traço 01 (Faixa B) para Capa com escória de alto-forno de manganês e pedrisco está apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Resultado do CBUQ do Traço 01 (Faixa B) para capa com escória de alto-forno de manganês e pedrisco.

Moldagem	1ª Moldagem	2ª Moldagem
Densidade Real (kg/dm ³)	2,908	2,908
Densidade Teórica (kg/dm ³)	2,665	2,652
Densidade AP Cps (kg/dm ³)	2,547	2,553
% CAP – 20	5,03	5,34
% Vazios	4,44	3,74
V.C.B.	12,78	13,16
VAM	16,81	16,95
RBV	73,62	77,84
Estabilidade	921	973
Fluência	3,57	3,71

Fonte: Consulpavi.

A curva granulométrica da mistura do Traço 01 (Faixa B) utilizada no 1º. corpo-de-prova está apresentada na Figura 5.



Fonte: Consulpavi.

Figura 5 - Curva granulométrica da mistura CBUQ do Traço 01 (Faixa B).

O resultado do CBUQ do Traço 02 (Faixa C) para capa com escória de alto-forno de manganês está apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado do CBUQ do Traço 02 (Faixa C).

Detalhes do Traço	Valores do Traço	Especificações do Traço
Densidade Teórica - DT	2,603	Variável
Densidade Aparente - DA	2,503	Variável
% de Betume : CAP - 20	5,70	5,4 – 6,0
% de Vazios	3,84	3,0 - 5,0
V.C.B.	13,78	Variável
V.A.M.	17,63	> 15,0
R.B.V.	78,2	75 – 82
Estabilidade - Marshall	1,120	≥ 350
Fluência mm	3,66	2,0 - 4,5

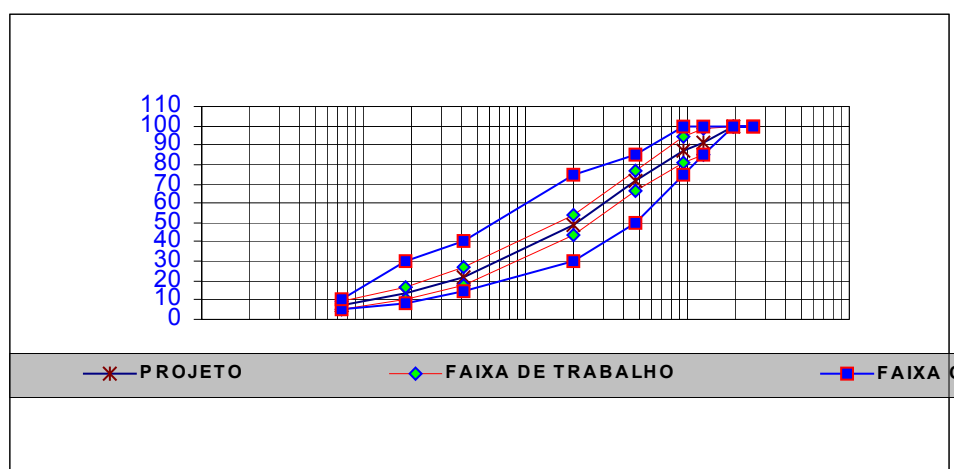
Fonte: Consulpavi.

Os resultados do ensaio de granulometria da mistura do Traço 02 (Faixa C) utilizada no 1º. corpo-de-prova estão apresentados na Tabela 13 e a curva granulométrica está apresentada na Figura 6, mostrando que está compreendida na Faixa C do DNIT.

Tabela 13 - Resultados do ensaio de granulometria da mistura CBUQ do Traço 02 (Faixa C).

Peneiras	Gran. do Traço	Faixa - Trabalho	Faixa - C
Peneiras 2"	-	-	-
Peneiras 1 1/2"	-	-	-
Peneiras 1"	-	-	-
Peneiras 3/4"	100,0	100	100
Peneiras 1/2"	91,50	85,00 – 98,50	85 – 100
Peneiras 3/8"	87,43	80,43 – 94,43	75 – 100
Peneiras nº 4	71,83	66,83 – 76,83	50 – 85
Peneiras nº 10	48,45	43,45 – 53,45	30 – 75
Peneiras nº 40	22,24	17,24 – 27,24	15 – 40
Peneiras nº 80	13,23	10,23 – 16,23	08 – 30
Peneiras nº 200	6,88	5,00 – 8,88	05 – 10

Fonte: Consulpavi.



Fonte: Consulpavi.

Figura 6 - Curva granulométrica da mistura CBUQ do Traço 02 (Faixa C).

A Figura 7 mostra a pavimentação feita com escória de alto-forno de manganês.



Figura 7 - Pavimentação asfáltica feita com escória de alto-forno de manganês.

4 DISCUSSÃO

A aplicação da escória de manganês utilizada neste trabalho como sub-base e base para pavimentos apresentou dados técnicos compatíveis com as normas do DNIT com relação a Abrasão Los Angeles, Adesividade para CAP-20, isento de impurezas, Índice de forma, equivalente de areia, tendo também como fator

importante e por ser um agregado siderúrgico, não apresentar expansão volumétrica e nem reatividade.

5 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados nos ensaios atendem aos requisitos preconizados para utilização da escória de alto-forno de manganês em substituição aos agregados pétreos exigidos pelas normas do DNIT nas camadas de pavimento.

Além da aplicação da escória de alto-forno de manganês como agregado em pavimentos pode-se, também, considerar que sua utilização traz um ganho para o meio ambiente já que ocorre uma diminuição de exploração de jazidas para obtenção de agregados e uma contribuição na diminuição de áreas de descarte de resíduos. Ganhos financeiros são também obtidos, pois o custo de agregados naturais é maior do que o da escória.

Agradecimentos

Agradecemos À SIBRA – Eletrosiderúrgica Brasileira S/A pelo fornecimento dos agregados para esta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- 1 Relações com Investidores. Press Releases. 2003. Disponível em: <http://www.cvrd.com.br/cvrd/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=400&sid=117>. Capturado em: 07/05/2007.
- 2 American Society for Testing Materials. **ASTM C 1260/05 - Accelerated Mortar Bar Method (AMBM)**. 2005.
- 3 DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Especificação de Serviço. **DNER ES-P 0313. Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico**. Rio de Janeiro. 1997.
- 4 DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Especificação de Serviço. **DNIT 031/2004 - ES - Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico**. Rio de Janeiro. 2004.
- 5 DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Método de ensaio. **DNIT ME 086/94. Agregados – determinação do índice de forma**. Rio de Janeiro. 1994.
- 6 DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Método de ensaio. **DNIT ME 035/98 – Agregados - determinação da abrasão Los Angeles**. Rio de Janeiro. 1998.
- 7 DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Método de ensaio. **DNIT ME 054/97. Equivalente de Areia**. Rio de Janeiro. 1997.
- 8 DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Método de ensaio. **DNIT ME 043/95 - Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall**. Rio de Janeiro. 1995.