

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES**

CLAUBER JOSÉ BANDEIRA DA COSTA

**MISTURA ASFÁLTICA COM O USO DE AREIA DE FUNDIÇÃO DE
FERRO DESCARTADA**

Rio de Janeiro
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

CLAUBER JOSÉ BANDEIRA DA COSTA

**MISTURA ASFÁLTICA COM O USO DE AREIA
DE FUNDIÇÃO DE FERRO DESCARTADA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Prof.º Salomão Pinto, D. Sc.
Prof.º Luís Alfredo Ventrini, D. Sc.

Rio de Janeiro
2008

© 2008

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

22290-270 Rio de Janeiro, RJ

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, micro filmar ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

C837 Costa, Clauber José B. da
Mistura Asfáltica com o Uso de Areia de Fundição de Ferro Descartada/ Clauber José B. da Costa – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.

214 p.: il., tab.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2008.

1. Mistura Asfáltica. 2. Rejeito Industrial. 3. Areia descartada de Fundição. I. Título. II. Instituto Militar de Engenharia.

CDD 625.85

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

CLAUBER JOSÉ BANDEIRA DA COSTA

**MISTURA ASFÁLTICA COM O USO DE AREIA DE FUNDIÇÃO DE
FERRO DESCARTADA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Prof.º Salomão Pinto, D.Sc.

Prof.º Maj. QEM Luís Alfredo Ventrini, D.Sc.

Aprovada em 26 de maio de 2008 pela seguinte banca examinadora:

Prof.º Maj. QEM Luís Alfredo Ventrini, D.Sc do IME – Presidente

Prof.º Salomão Pinto – D. Sc. do IME

Prof.^a Laura Maria Goretti da Motta – D. Sc. da COPPE/UFRJ

Prof. Osvaldo Albuquerque Fonseca – Ph. D. da UNIFA/RJ

Rio de Janeiro

2008

Dedico este trabalho aos meus pais José Bezerra da Costa e Claudete Bandeira da Costa, ao meu amado e esperado filho Enzo Gabriel e à DEUS.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido a graça de atingir este objetivo. Obrigado Senhor!

Aos meus pais, José Bezerra da Costa e Claudete Bandeira da Costa, pela educação de qualidade, amor, apoio, dedicação e incentivo ao longo da minha existência.

À minha querida irmã, Cláudia Josélia Bandeira da Costa, pela amizade, em todos os momentos da minha vida.

À minha amada esposa, Patrícia Garcia, que me proporcionou a oportunidade de ser pai e pelo companheirismo, principalmente durante a confecção deste trabalho.

Ao professor e orientador D.Sc. Salomão Pinto pelos ensinamentos, orientação, apoio e incentivo durante todo o período de dissertação. Agradeço pelos conhecimentos transmitidos, pelo acompanhamento dos ensaios e procedimentos, pelo esclarecimento das dúvidas e, principalmente, pelo envolvimento pessoal em todas as fases do trabalho. Tenho a certeza de que sem a presença do professor Salomão Pinto não seria possível chegar ao fim deste ano com este estudo realizado. Agradeço sinceramente, por ter me aceitado como seu aluno, fato que me deixa muito orgulhoso. Sinto-me um privilegiado por ter tido a oportunidade de conviver e aprender com o senhor. A energia e a paixão pela pesquisa e pelo trabalho são vossas marcas registradas e devem servir de exemplo a todos os jovens engenheiros que iniciam seus estudos e atividades no meio técnico da pavimentação rodoviária brasileira. Muito obrigado mestre!

Ao professor e orientador D.Sc. Luís Alfredo Ventorini pela sua importante e decisiva ajuda na redação e estruturação do trabalho. Agradeço pelas orientações, pela paciência e empenho na correção e aprimoramento do texto, pelas sugestões que me alertaram contra possíveis erros e descuidos e pela amizade e solidariedade. Muito obrigado mestre!

Ao professor M.Sc. Álvaro Vieira pelos ensinamentos transmitidos em suas importantes aulas na cadeira de mecânica dos pavimentos. Agradeço ao professor Álvaro pela sugestão do tema deste trabalho, pela ajuda na obtenção e seleção dos materiais desta pesquisa.

Aos professores da Pós Graduação em Engenharia de Transportes do IME por todos os ensinamentos transmitidos nas cadeiras do mestrado e pelas orientações durante os seminários.

À professora D.Sc. Laura Maria Goretti da Motta pela apreciação desta dissertação, pelos valiosos ensinamentos transmitidos na cadeira de materiais de pavimentação e pelas

bibliografias sugeridas que foram fundamentais para a redação do texto. Obrigado, professora!

Ao Professor Ph.D Osvaldo Albuquerque Fonseca pelo tempo dedicado à apreciação dessa dissertação.

Ao Dr. Chequer Jabour Chequer, coordenador do IPR pela autorização do uso das instalações do laboratório do IPR para a realização dos ensaios desta pesquisa.

Ao laboratorista do IPR Sérgio Romário pela primordial ajuda prestada na moldagem dos corpos-de-prova, pelos conhecimentos transmitidos, pelo acompanhamento dos ensaios e procedimentos, pelo esclarecimento das dúvidas. Obrigado pelo companheirismo, amizade e dedicação. Sem esse grande profissional o trabalho seria imensamente maior e, com certeza, não contaria com a mesma precisão. Muito obrigado Sérgio!

Ao laboratorista Mac Cabral pelo apoio técnico nas visitas de campo, durante a campanha de levantamento deflectométrico com viga Benkelman na cidade de Extrema-MG, pelos conhecimentos transmitidos e pelos esclarecimentos das dúvidas. Muito Obrigado Mac!

A todos os funcionários do IPR pela cordial convivência e amizade.

Aos meus colegas de mestrado pelos momentos inesquecíveis que passamos juntos durante o curso, inclusive nos finais de semana e feriados, e em especial ao André Gasparini, Fábio Ávila e Olívio Beltrame e todos que direta e indiretamente me ajudaram na confecção deste trabalho. Muito Obrigado Amigos!

Ao Exército Brasileiro pela oportunidade que me foi dada de realizar este curso.

“O futuro tem muitos nomes. Para os fracos é o inatingível. Para os temerosos, o desconhecido. Para os valentes é a oportunidade.”

VITOR HUGO

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	11
LISTA DE TABELAS	14
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	17
LISTA DE SIGLAS	19
1 INTRODUÇÃO	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 A Indústria de Fundição	27
2.2 O Processo de Fundição	28
2.3 Geração dos Resíduos Industriais.....	31
2.4 Caracterização e Classificação de Resíduos Sólidos.....	33
2.5 Os Resíduos de Areia de Fundição (R.A.F/A.D.F).	37
2.6 Pavimentação Rodoviária.....	40
2.7 Projeto de Misturas Asfálticas.....	43
2.7.1 Revestimento Asfáltico	43
2.7.2 Dosagem de Misturas Asfálticas	46
2.8 Método de Dosagem de Concreto Asfáltico - CA.....	47
2.9 Método de Dosagem de Pré-Misturado a Frio - PMF.....	49
2.10 Uso de Rejeito Industrial Em Pavimentação Rodoviária	52
2.11 Avaliação Estrutural	56
2.12 Retroanálise	58
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	62
3.1 Ensaio Ambientais	62
3.1.1 Amostras Estudadas.....	63
3.1.2 Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005)	65
3.1.3 Ensaio de Solubilização (NBR 10.006).....	66
3.1.4 Ensaio do Lixiviado E Lixiviado Neutro (Cetesb N° 152/2007)	67
3.2 Ensaio Mecânicos	68
3.2.1 Projeto das Misturas Asfálticas Estudadas	73
3.2.2 Ensaio de Resistência a Tração (RT) por Compressão Diametral.....	80

3.2.3	Ensaio de Módulo de Resiliência (MR)	82
3.2.4	Estimativa da Vida de Fadiga.....	84
3.3	Considerações Sobre a Pista Experimental	87
3.3.1	Camada de Subleito	89
3.3.2	Sistema de Captação da Água Percolada.....	89
3.3.3	Camada de Base.....	91
3.3.4	Camada de Revestimento	91
3.3.5	Avaliação Estrutural	93
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	95
4.1	Comportamento dos Riscos Ambientais	95
4.1.1	Mistura Asfáltica com ADF no Trecho Experimental.....	98
4.1.2	Pré-Misturado a Frio com ADF no Trecho Experimental.....	99
4.1.3	Concreto Asfáltico com ADF no Trecho Experimental	101
4.1.4	Análise da Água Percolada no Trecho Experimental.....	104
4.1.5	Interface Entre Mistura Asfáltica e ADF.....	110
4.2	Comportamento Mecânico	111
4.2.1	Resistência a Tração (RT)	113
4.2.2	Módulo de Resiliência (MR).....	114
4.2.3	Comportamento A Fadiga	117
4.2.4	Avaliação Estrutural	122
4.2.5	Misturas Asfálticas Retiradas Da Pista Experimental.....	133
4.2.6	Retroanálise	138
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	145
5.1	Avaliação do Risco Ambiental.....	145
5.2	Avaliação Mecânica	146
5.3	Conclusão Geral (Resumo).....	147
6	BIBLIOGRAFIA	149
7	APÊNCICES	155
7.1	Apêncice 1: Resitência a Tração, Módulo de Resiliência e Fadiga.....	156
7.2	Apêncice 2: Caracterização do Ligante e Agregados.....	173

7.3	Apêndice 3: Lixiviação, Solubilização e Água Percolada.....	182
-----	---	-----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 2.1	Fluxograma das Etapas de Operação de uma fundição	29
FIG. 2.2	Fluxograma das Etapas de classificação de resíduo	34
FIG. 2.3	Areia descartada de fundição – “Areia Verde”	39
FIG. 2.4	Resumo das soluções de estudo para as ADFs	40
FIG. 2.5	Produção anual de Asfalto de 2000 a 2006 – Brasil.....	41
FIG. 2.6	Espalhamento e compactação de mistura asfáltica CA	46
FIG. 2.7	Fluxograma Método Marshall modificado para PMFs.....	51
FIG. 3.1	Características viscosométricas do CAP 50/70	70
FIG. 3.2	Aspecto físico da “areia verde”	71
FIG. 3.3	Amostras dos materiais granulares utilizados neste estudos	71
FIG. 3.4	Adesividade do agregado.....	72
FIG. 3.5	Granulometria dos agregados utilizados no estudo	73
FIG. 3.6	Frações dos agregados usados neste estudo	74
FIG. 3.6	Enquadramento da Mistura com ADF (Tupy) na faixa “C” DNIT	75
FIG. 3.7	Enquadramento da mistura com ADF (Fagor) na faixa “C” DNIT.....	76
FIG. 3.8	Enquadramento da mistura s/ ADF na Faixa “C” DNIT.....	77
FIG. 3.9	Todas as misturas enquadradas na Faixa “C” DNIT	77
FIG. 3.10	Gráfico % de vazios x relação betume vazios p/ a mistura c/ ADF (Tupy)	78
FIG. 3.11	Gráfico% de vazios x relação betume vazios da mistura s/ ADF.....	79
FIG. 3.12	Prensa utilizada para o ensaio de RT.....	81
FIG. 3.13	Equipamento usado para ensaio de MR	82
FIG. 3.14	Ensaio de Fadiga em andamento	85
FIG. 3.15	Localização do trecho estudado.....	88
FIG. 3.16	Estrutura do pavimento executado em Extrema - MG	89
FIG. 3.17	Regularização do subleito do trecho experimental em Extrema (MG)	89
FIG. 3.18	Sistema de captação d’água sub superficial no trecho experimental de Extrema (MG)	90
FIG. 3.19	Secção proposta para avaliação ambiental (Extrema - MG)	90
FIG. 3.20	Desenho do tubo coletor de água percolada	91
FIG. 3.21	Preparação da Camada de Base do trecho experimental de Extrema - MG	91
FIG. 3.22	Etapas construtivas da pista experimental em Extrema (MG)	92

FIG. 3.23	Levantamento Deflectométrico (Extrema - MG)	93
FIG. 4.1	Interface agregado e ligante asfáltico (Cps de Extrema - MG)	111
FIG. 4.2	Resistência a tração (RT) das misturas estudadas	114
FIG. 4.3	Módulo de resiliência das misturas estudadas (MR)	116
FIG. 4.4	Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Tupy	118
FIG. 4.5	Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Fagor	118
FIG. 4.6	Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), s/ ADF	119
FIG. 4.7	Vida de fadiga versus diferenças de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Tupy	119
FIG. 4.8	Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Fagor	120
FIG. 4.9	Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), s/ ADF	120
FIG. 4.10	Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Fagor	121
FIG. 4.11	Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Tupy	121
FIG. 4.12	Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa) s/ ADF	121
FIG. 4.13	Levantamento deflectométrico na estaca n°. 6	123
FIG. 4.14	Levantamento deflectométrico na estaca n°. 6, Base	124
FIG. 4.15	Levantamento deflectométrico – Extrema - MG (após 60 dias)	125
FIG. 4.16	Levantamento deflectométrico – Extrema - MG (após 120 dias)	126
FIG. 4.17.	Levantamento deflectométrico do Segmento de PMF s/ ADF – Extrema (MG) .	127
FIG. 4.18	Bacia de Deflexão medida na estaca n.º 7, Representativa – Extrema (MG)	127
FIG. 4.19	Levantamento deflectométrico do Segmento de PMF c/ ADF da Fagor – Extrema (MG)	128
FIG. 4.20	Bacia de Deflexão medida na estaca n.º 9, Representativa – Extrema (MG)	128
FIG. 4.21	Levantamento deflectométrico do segmento de PMF c/ ADF da TUPY – Extrema (MG)	129
FIG. 4.22.	Bacia de Deflexão medida na estaca n.º. 25, Representativa – Extrema (MG) ...	129
FIG. 4.23	Levantamento deflectométrico do segmento de CA s/ ADF Extrema - MG	130
FIG. 4.24	Bacia de Deflexão medida na estaca n.º. 32, no trecho experimental em Extrema (MG)	130
FIG. 4.25	Levantamento deflectométrico do segmento CA c/ ADF da FAFOR Extrema (MG)	131
TAB. 4.36	Deflexão média medida para CAUQ c/ 10% ADF da FAGOR	131
FIG. 4.26	Bacia de Deflexão medida na estaca n.º. 41, no trecho experimental - Extrema (MG)	131

FIG. 4.27 Levantamento deflectométrico do segmento de CA c/ ADF da TUPT - Extrema (MG)	132
FIG. 4.28 Bacia de Deflexão medida na estaca n°. 52 –Trecho concreto asfáltico com ADF da Fagor em Extrema (MG)	132
FIG. 4.29 Exemplo de extração dos corpos-de-prova da pista experimental	133
FIG. 4.30 Exemplo de Corpo-de-prova de CA extraído da pista experimental.....	134
FIG. 4.31 Exemplo do Corpo-de-prova de PMF extraído da pista experimental um mês após a construção	134
FIG. 4.32 Envelhecimento do ligante na preparação, usinagem, transporte na execução e em serviço.....	136
FIG. 4.33 Índices de envelhecimento deste estudo	138
FIG. 4.34 Comparação entre a Bacia de deslocamento medida e calculada pela retroanálise c/ ADF da FAGOR.....	139
FIG. 4.35 Comparação da bacia de deslocamento após retroanálise s/ ADF	140
FIG. 4.36 Bacia de deslocamento após retroanálise c/ ADF da TUPY	140
FIG. 4.37 Comparação dos valores retroanalísados.....	144

LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1	Produção de Fundidos (ton), segundo região – 05/06	28
TAB. 2.2.	Origem, classes e responsáveis pelos resíduos	36
TAB. 2.3	Classificação dos Revestimentos Betuminosos	44
TAB. 2.4	Faixa Granulométrica e requisitos para concreto asfáltico.....	48
TAB. 2.5	Parâmetros físicos e mecânicos das misturas tipo concreto asfáltico.....	48
TAB. 2.6	Faixa Granulométrica e características de dosagem para PMF.....	52
TAB. 3.1	Técnicas analíticas utilizadas nos ensaios de lixiviação e solubilização.....	67
TAB. 3.2	Propriedades do ligante – CAP 50/70 usado neste estudo.....	69
TAB. 3.3	Resultados do ensaio Saybolt-Furol para o CAP,usado na pesquisa.....	69
TAB. 3.4	Temperaturas utilizadas na moldagem dos corpos-de-prova	70
TAB. 3.5	Propriedades físicas dos agregados utilizados no estudo	72
TAB. 3.6	Análise granulométrica dos agregados (% passante)	73
TAB. 3.7	Composição granulométrica obtida com ADF da TUPY	74
TAB. 3.8	Composição granulométrica obtida com ADF da FAGOR.....	75
TAB. 3.9	Composição granulométrica da mistura de referência obtida s/ ADF.....	76
TAB. 3.10	Parâmetros físicos e mecânicos das misturas estudadas.....	80
TAB. 3.11	Intervalos de variação para a resistência a tração (RT)	81
TAB. 3.12	Intervalos de variação para módulo de resiliência (MR).....	83
TAB. 3.13	Levantamento do tráfego realizado em abril de 2007, na estrada dos Tenentes - Extrema – MG	87
TAB. 4.1	Parâmetros Químicos no lixiviado e solubilizado – ADF da TUPY.....	96
TAB. 4.2	Dados relativos ao ensaio de lixiviação – ADF da TUPY	96
TAB. 4.3	Dados relativos ao ensaio de solubilidade – ADF da TUPY.....	96
TAB. 4.4	Parâmetros Químicos no lixiviado e solubilizado – ADF da FAGOR.....	97
TAB. 4.5.	Dados relativos ao ensaio de lixiviação – ADF da FAGOR	97
TAB. 4.6.	Dados relativos ao ensaio de solubilidade – ADF da FAGOR.....	97
TAB. 4.7	Parâmetros químicos da Amostra PMF com 10% de ADF da FAGOR.....	99
TAB. 4.8	Dados relativos ao ensaio de lixiviação – PMF c/ 10% de ADF da FAGOR	99
TAB. 4.9	Dados relativos ao ensaio de solubilidade – PMF c/ 10% de ADF da FAGOR...	100
TAB. 4.10	Parâmetros químicos da Amostra PMF s/ ADF	100
TAB. 4.11	Dados relativos ao ensaio de lixiviação – PMF s/ ADF.....	101

TAB. 4.12 Dados relativos ao ensaio de solubilidade – PMF s/ ADF.....	101
TAB. 4.13 Parâmetros Químicos da Amostra CA c/ 10% ADF TUPY.....	102
TAB. 4.14 Parâmetros Químicos da Amostra CA com 10% ADF FAGOR.....	103
TAB. 4.15 Dados relativos ao ensaio de lixiviação – CA c/ 10% ADF FAGOR	103
TAB. 4.16 Dados relativos ao ensaio de solubilização – CAUQ c/ 10% ADF FAGOR	103
TAB. 4.17 Parâmetros Químicos da água percolada PMF s/ ADF	105
TAB. 4.18 Parâmetros Químicos da água percolada PMF c/ ADF da FAGOR.....	106
TAB. 4.19 Parâmetros Químicos da água percolada CA c/ ADF da FAGOR	107
TAB. 4.20 Parâmetros Químicos da água percolada CA s/ ADF.....	108
TAB. 4.21 Parâmetros Químicos da água percolada CA c/ ADF da TUPY	109
TAB. 4.22 Comparativo dos Cinco Parâmetros Críticos do Solubilizado - AVF.....	110
TAB. 4.23 Comparativo dos Cinco Parâmetros Críticos do Solubilizado – Areia convencional e o CAP.....	110
TAB. 4.24 Quantidade de corpos-de-prova para a pesquisa.	112
TAB. 4.25 Resultados da resistência a tração (RT).....	113
TAB. 4.26 Resultados do módulo de resiliência (MR) para CA.....	115
TAB. 4.27 Resultados do módulo de resiliência (MR) para PMF	116
TAB. 4.27 Características de fadiga para CPs em CA, fabricadas no IPR	118
TAB. 4.27 Características de fadiga para CPs em CBUQ moldados na pista experimental..	119
TAB. 4.28 Características de fadiga para CPs em PMF moldados na pista experimental....	120
TAB. 4.29 Características do material de subleito	123
TAB. 4.30 Índices físicos do solo estudado	123
TAB. 4.31 Características do material de base.....	124
TAB. 4.32 Bacia Deflexões medidas para PMF s/ ADF.....	127
TAB. 4.33 Deflexões medidas para PMF c/ 10% ADF da FAGOR	128
TAB. 4.34 Deflexões medidas para PMF c/ 10% ADF da TUPY	129
TAB. 4.35 Deflexão média medida para CA s/ ADF.....	130
TAB. 4.37 Deflexões médias medidas no trecho de CA c/ ADF da TUPY	132
TAB. 4.38 Resultado de MR e RT para CA retirados da pista experimental.....	134
TAB. 4.39 Resultado de MR e RT para PMF retiradas da pista experimental	134
TAB. 4.40 Resultado do grau de envelhecimento do ligante betuminoso	137
TAB. 4.41 Resultado do índice de envelhecimento	137
TAB. 4.42 Resultado da simulação com o ELSYM 5 – CA c/ 10% ADF FAGOR	140
TAB. 4.43 Resultado da retroanálise com o ELSYM 5 s/ ADF.....	140

TAB. 4.44 Resultado apresentado com o ELSYM 5, CA a 10% ADF TUPY	141
TAB. 4.45 Resultado da simulação com o ELSYM 5 c/ o uso do modelo de Hogg.....	143
TAB. 4.46 Resultado da simulação com o ELSYM 5 c/ uso do modelo de Hogg para o trecho experimental	143
TAB. 4.47 Correlação do produto Rd_0	144

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Δ -	Deformação elástica
D -	Diâmetro do corpo-de-prova
F -	Carga vertical aplicada diametralmente no corpo-de-prova
H -	Altura do corpo-de-prova
μ -	Coefficiente de Poisson
η_a / η_0 -	Índice de envelhecimento
η_0 -	Viscosidade absoluta a 60°C da amostra virgem
η_r -	Viscosidade absoluta a 60°C da amostra após RTFOT
η_{iprca} -	Viscosidade absoluta a 60°C da amostra extraída de corpos-de-prova de concreto asfáltico fabricados no IPR.
η_{pca} -	Viscosidade absoluta a 60°C da amostra extraída de corpos-de-prova de concreto asfáltico procedentes da pista experimental.
η_{ppmf} -	Viscosidade absoluta a 60°C da amostra extraída de corpos-de-prova de pré-misturado a frio procedentes da pista experimental.
P -	Carga pontual aplicada na superfície;
z -	Profundidade;
r -	Distância radial;
a -	Raio do carregamento circular (referente ao pneu de uma roda);
q -	Intensidade uniforme do carregamento circular;
E -	Módulo de elasticidade;
σ_r -	Tensão normal radial;
σ_t -	Tensão normal tangencial;
τ_{rz} -	Tensão de cisalhamento no plano r na direção z;
M_R -	Módulo de resiliência;
σ_d -	Tensão-desvio;
σ_3 -	Tensão confinante;
ϵ_R -	Deformação específica vertical recuperável ou resiliente;
σ_t -	Tensão de tração no plano diametral vertical de uma amostra cilíndrica de mistura betuminosa;

- ε_t - Deformação específica recuperável correspondente à tensão σ_t ;
- d - Diâmetro do corpo de prova de mistura betuminosa;
- h - Altura do corpo de prova de mistura betuminosa;
- R^2 - Coeficiente de determinação;
- σ_x - Tensão normal na direção do eixo x das coordenadas cartesianas;
- σ_y - Tensão normal na direção do eixo y das coordenadas cartesianas;
- τ_{xy} - Tensão de cisalhamento no plano x na direção y ;
- τ_{yz} - Tensão de cisalhamento no plano y na direção z ;
- τ_{xz} - Tensão de cisalhamento no plano x na direção z , respectivamente;
- R e Z - Eixos radial e vertical de coordenadas globais, respectivamente;
- $\sigma_{d \min}$ - Tensão-desvio mínima;
- D_0 - Deflexão do ponto localizado a 0 centímetro de distância do centro da carga circular, respectivamente;
- D_{20} - Deflexão do ponto localizado a 20 centímetros de distância do centro da carga circular.
- D_{30} - Deflexão do ponto localizado a 30 centímetros de distância do centro da carga circular.
- D_{45} - Deflexão do ponto localizado a 45 centímetros de distância do centro da carga circular.
- D_{60} - Deflexão do ponto localizado a 60 centímetros de distância do centro da carga circular.
- D_{90} - Deflexão do ponto localizado a 90 centímetros de distância do centro da carga circular.
- D_{120} - Deflexão do ponto localizado a 120 centímetros de distância do centro da carga circular.

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
ADF	Areia descartada de fundição
AVF	Areia Verde de Fundição
CBR	Califórnia Bearing Ratio
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CA	Concreto Asfáltico
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes
FWD	<i>“Falling Weight Deflectometer”</i> .
IBP	Instituto Brasileiro do Petróleo
IME	Instituto Militar de Engenharia
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
ISO	International Organization for Standardization
LQ	Limite de Quantificação
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
MR	Módulo de Resiliência
NBR	Norma Brasileira Registrada
ND	Não detectado
PA	Ponto de Amolecimento
RAF	Rejeito de areia de fundição
RAVF	Rejeito de areia verde de fundição
REPLAN	Refinaria Planalto
RT	Resistência à Tração
SM	Standard Methods
SUPERPAVE	Superior Performing Asphalt Pavements
SHRP	Strategic Highway Research Program
VMP	Valor Máximo Permitido

RESUMO

Atualmente um dos principais problemas da indústria de fundição é a geração de grandes quantidades de resíduos, dentre eles as areias de fundição. Esse resíduo é disposto atualmente em aterros industriais e/ou comerciais, porém, pelos volumes gerados, torna-se cada vez mais cara e inviável a remoção como solução momentânea para sua destinação. Tais areias são oriundas dos diferentes processos de fundição e podem ser distinguidas em dois tipos principais como areias de moldagem (areia verde) e areias de macharia (areia ligada quimicamente). É de interesse de órgãos ambientais, empresas de fundição e afins, que sejam estudadas alternativas práticas e legais, para a utilização da areia de fundição de ferro como subproduto sendo uma alternativa possível a substituição da areia retirada de cavas ou rios em obras de construção rodoviária. Assim, nos últimos anos, pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando o aproveitamento de resíduos sólidos industriais em misturas asfálticas. A verificação do comportamento e desempenho de tais misturas em condições reais, sob atuação de cargas provenientes do tráfego, variações climáticas e efeito da umidade, deve ser feita em pistas experimentais, com o devido monitoramento de interesse a pavimentação. Assim sendo, o trabalho avalia o comportamento de misturas asfálticas a quente e a frio, obtidas a partir da adição de resíduo “areia verde” de fundição em substituição ao agregado fino convencionalmente utilizado (areia de rio ou cava). O comportamento das misturas foi caracterizado por meio de um programa experimental utilizando diferentes teores de rejeitos e métodos de ensaio como dosagem Marshall, resistência à tração por compressão diametral, módulo de resiliência, vida de fadiga e avaliação quanto ao risco potencial ao meio ambiente e a saúde pública (NBR 10004) através de ensaios para verificação dos valores limites dos extratos lixiviado (NBR 10005) e solubilizado (NBR 10006). Ainda serão apresentadas considerações do desempenho estrutural da pista experimental executada no município de Extrema-MG, viabilizado por um consórcio de empresas de fundição sendo representada pela Tupy Fundições Ltda. e a Fagor Ederlan Brasileira Ltda. Os resultados apresentados para as misturas do tipo concreto asfáltico fabricadas em laboratório incorporando ADFs tiveram comportamento mecânicos próximos aquelas misturas em concreto asfáltico ditas convencionais, com relação à avaliação do risco ambiental, as amostras de laboratório classificaram esse material como resíduo classe II – Inerte. Fica evidenciado que as práticas de construção utilizadas e/ou adotadas pela Prefeitura Municipal de Extrema e a ausência de controle tecnológico das camadas do pavimento na construção do trecho experimental, não recomendam o uso das ADFs em pavimentação.

ABSTRACT

Nowadays, one of the most important problems in foundry industry is the waste generation. Casting sand is one of them. Currently, this waste is disposed at industrial or commercial landfills, however, due to huge generated volumes, such a destination has become more expensive and, consequently, not viable. Such sand comes from different casting processes and can be distinguished in two types: green sand and chemically joined sand.

To environmental authorities and foundry companies there is special interest in out practical and legal alternatives for the utilization of casting sand as a sub-product in construction activities. An important alternative is to use casting sand in asphalt mixtures, instead sand from river. This alternative follows the tendency of the last ten years researches, witch aimed to usine solid industrial waste in asphalt mixtures.

In this way, the main goal of this research is to evaluate asphalt mixtures containing green sand. The mixture behavior was characterized by an experimental program taking into account different amount of casting sand in the mixture, and: Marshall dosage, split tensile strength under controlled stress, resilient modulus and fatigue life.

Further, it will be presented considerations about an experimental road section located in Extrema - MG city, Brazil, and executed with asphalt mixtures containing casting sand provided by a group of partners (Tupy Fundições Ltda. is Fagor Ederlan Brasileira Ltda).

1 INTRODUÇÃO

Na indústria de fundição, a moldagem em areia, apesar de antiga, ainda é o processo mais utilizado. Neste processo, geralmente, a areia de sílica é misturada com o aglomerante e água. A moldagem em areia é bastante utilizada por ser econômica e permitir uma produção de qualidade, tanto em metais ferrosos como em não ferrosos, e por ser bastante apropriada para a produção em série, pois admite uma perfeita sincronização entre a operação de moldagem e a de fusão do metal. Entretanto, a areia, após a utilização na indústria de fundição, torna-se um grave problema ambiental, pois fica contaminada por elementos e compostos químicos, tais como arsênio, bário, cádmio, chumbo, sódio, mercúrio, cloretos, fluoretos, fenóis e surfactantes. (COUTINHO, 2004).

Segundo CARNIN (2005) as empresas de fundições no Brasil compram aproximadamente 2.000.000 t por ano de areia *in natura* e, por isso, geram igual quantidade de resíduos que são causas de efeitos ambientais como o depósito em aterros de descarte, sendo a própria exploração descontrolada dos materiais naturais fatores que agridem ao meio ambiente, gerando um passivo ambiental preocupante.

As indústrias de fundição brasileiras geraram de janeiro a outubro de 2006 2.125.175 t de produtos fundidos, sendo a região sudeste responsável pela maior produção, tendo a maior concentração no Estado de São Paulo (ABIFA, 2006).

A fabricação de peças fundidas precisa de grande quantidade de areia para confecção dos moldes e machos. O consumo de areia, dependendo do tipo de peça, varia aproximadamente de 800 kg a 1000 kg para cada 1 t de peça fundida produzida. Essa areia normalmente é extraída de jazidas naturais de cava ou rios, com granulométricas diversas.

Assim, um dos principais problemas da indústria de fundição é a geração de grandes quantidades de resíduos, dentre eles destacam-se as areias de fundição. Este resíduo é disposto em aterros industriais, porém, pelos volumes gerados, torna-se cada vez mais cara e inviável tal remoção como solução momentânea para sua destinação. Tais areias são oriundas dos diferentes processos de fundição e podem ser distinguidas em dois tipos genéricos principais de areias de moldagem/macharia: a “areia verde” e a “areia ligada quimicamente”.

Segundo BONIN *et. al.* (1995), estes resíduos são normalmente classificados quanto ao risco potencial ao meio ambiente como classe II - não inerte, conforme a NBR 10004 da ABNT, ou seja, com possibilidade de agressão ao meio ambiente.

No preparo dos moldes a areia é misturada com um ligante o qual pode ser bentonita, outros aditivos e água, para obtenção da chamada areia verde utilizada na produção de peças de menor peso e tamanho. Por outro lado para a fabricação de peças maiores geralmente são utilizados moldes e machos constituídos por areia misturada com resina e catalisador, conferindo maior resistência às peças. Além da areia verde, as empresas utilizam areia com resina fenólica, o que dificulta sua recuperação e reutilização, gerando desta maneira grande quantidade de areia descartada que alguns anos atrás, chegou a 1.000 t/mês

Segundo BINA (2002) os rejeitos industriais, materiais residuais de descarte do processo produtivo de qualquer indústria, devem ser controlados ou tratados para evitar sua transformação em contaminantes. Preocupados com os rejeitos não tratados e não administrados, os órgãos de controle ambiental trabalham no sentido de disciplinar sua destinação final, evitando-se que contaminem os recursos naturais (ar, água e solo), e por consequência o ser humano.

A possibilidade de reutilização da areia descartada de fundição, além de evitar a sua disposição em aterros industriais e/ou comerciais, devolve algum tipo de valor para seu gerador ou para outro interessado que possa utilizá-la de forma adequada. Além disso, a reutilização da areia descartada no processo de fundição pode gerar substancial economia de matéria prima em um outro processo em que seja utilizada, contribuindo à conservação dos recursos naturais.

HILTUNEN *et al.* (1992) destacam em suas literaturas que os resíduos de areia de fundição podem ser usados como material único ou combinado com outros materiais para gerar um produto aceitável na indústria da construção. Estes resíduos também podem ser usados como base ou sub-base para pavimentos de concreto de cimento portland e como fonte de sílica para produção de cimento portland. A areia de fundição também pode ser usada em combinação com outros materiais como agregado fino para a produção de cimento portland e concreto asfáltico convencional para pavimentação.

É de interesse de órgãos ambientais, empresas de fundição e afins, que sejam estudadas alternativas práticas e legais, para a utilização da areia de fundição de ferro como sub-produto sendo uma alternativa possível ao uso como a substituição da areia virgem retirada de cavas ou rios em obras de construção rodoviária. Assim, nos últimos anos, pesquisas vêm sendo desenvolvidas visando o aproveitamento desses resíduos sólidos industriais fora da atividade de fundição, tais como em aterro em rodovias, como parte do agregado fino na massa asfáltica e na composição da pavimentação asfáltica. Muitos desses estudos são parcialmente

patrocinados pelas próprias indústrias geradoras ou suas associações, e outras desenvolvidas em parceria com universidades.

A verificação do comportamento e desempenho de tais misturas em condições reais, sob atuação de cargas provenientes do tráfego, variações climáticas e efeito da umidade, deve ser feita em pistas experimentais, com o devido monitoramento de interesse da pavimentação.

Este trabalho objetiva avaliar o comportamento e o desempenho de misturas asfálticas a quente e a frio, obtidas a partir da adição de resíduo “areia verde” de fundição em substituição ao agregado fino convencionalmente utilizado (areia de rio ou cava). Para isso, serão analisados materiais e amostras coletadas em um trecho experimental executado por um consórcio de empresas de fundição (Tupy Fundições Ltda./Fagor Ederlan Brasileira Ltda.), consultoras de engenharia (Monobeton) e a Prefeitura Municipal de Extrema-MG, bem como:

- a. Dosagem Marshall em laboratório para comparação dos resultados;
- b. Retroanálise a partir dos levantamentos defletoométrico para determinação dos módulos de resiliência *in situ* das camadas;
- c. Avaliação do risco ambiental para a verificação dos teores limites constantes no extrato lixiviado (NBR 10005) e extrato solubilizado (NBR 10006).

Objetivo do Trabalho

Este trabalho objetiva avaliar o comportamento de misturas asfálticas a quente e a frio, utilizando areia descartada de fundição como agregado fino, bem como o desempenho de um trecho experimental e de estruturas de pavimento com esses tipos de misturas.

Justificativa

Esta pesquisa se justifica pelo fato de que a viabilização da incorporação de areias de fundição nas misturas asfálticas contribui significativamente para o desenvolvimento sócio-econômico-ambiental, a saber:

- Diminuição dos impactos ambientais relacionados à exploração de areias de rio, cavas, pedreiras bem como do passivo ambiental gerado.
- Criação de normas específicas junto aos órgãos competentes para o uso de areia de fundição em misturas asfálticas;

- Divulgação aos empresários da área de fundição sobre a alternativa do uso do resíduo em outros segmentos da economia;
- Redução dos custos de remoção dos resíduos de areia de fundição em aterros industriais que utilizam técnicas que permitem a disposição controlada destes resíduos.

Estrutura do Trabalho

A presente dissertação está estruturada em 5 capítulos que tratam dos seguintes assuntos:

Capítulo 1 Introdução. É apresentado o objetivo da dissertação, a justificativa para a realização do estudo e a sua estruturação;

O Capítulo 2 Revisão bibliográfica sobre as misturas asfálticas incorporando rejeitos industriais, areias de fundição e seus empregos, pavimentação rodoviária, projeto de misturas asfálticas, método de dosagem Marshall para misturas a quente e misturas a frio.

O Capítulo 3 trata do programa experimental. São apresentados os materiais utilizados (agregados e ligantes), o programa experimental desenvolvido, caracterizando as amostras e os procedimentos de ensaio utilizados.

O Capítulo 4 apresenta o tratamento dos dados e análise dos resultados referente ao programa experimental. É apresentado o resultado dos ensaios mecânicos para obtenção do módulo de resiliência (MR), da resistência à tração estática por compressão diametral (RT) e fadiga por compressão diametral a tensão controlada das misturas asfálticas incorporadas por areia de fundição. Ainda no capítulo 4 é feita uma análise dos resultados obtidos, comparando-se os prováveis desempenhos à fadiga do pavimento executado em Extrema-MG com as características dos materiais estudados em laboratório (módulo de resiliência e curvas de fadiga), através do uso de programas computacionais e a avaliação ambiental do trecho executado através da coleta de água, percolada no material.

O Capítulo 5 finaliza apresentando as conclusões do estudo realizado, bem como recomendações para trabalhos futuros nessa mesma linha de pesquisa.

Apêndice 1 – Tabela de Resultados – Resistência à Tração, Módulo de Resiliência e Fadiga

Apêndice 2 – Fichas dos Ensaio – Caracterização do ligante e Dosagem Marshall

Apêndice 3 – Fichas dos Ensaio – Lixiviação, Solubilização e água Percolada

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A INDÚSTRIA DE FUNDIÇÃO

A indústria de fundição de peças em ferro, aço e ligas não ferrosas são um segmento da economia nacional que emprega cerca de 60 mil trabalhadores em cerca de mil empresas. A maioria dessas empresas, cerca de 90%, é de pequeno e médio porte, com localização em todas as regiões do país com maior concentração no Sudeste. Segundo dados divulgados pela Revista *Modem Casting*, o Brasil passou a ocupar a 7ª colocação no “ranking” dos maiores produtores de fundidos do mundo sendo a principal característica do setor de fundição brasileiro o uso intensivo de mão-de-obra e a utilização de matéria-prima nacional, o que demonstra a independência em relação ao fornecimento do mercado externo. O setor gera um número significativo de empregos diretos e indiretos na cadeia produtiva de fundição. Com exportações crescentes e basicamente inexistência de importação, o setor contribui para que a balança comercial brasileira atinja resultados positivos, sendo que em 2005 as vendas ultrapassaram US\$ 1 bilhão. (“*Foundry Brazil*”, 2006).

A indústria de fundição é um segmento da economia que se caracteriza pela produção de bens intermediários e fornece seus produtos para indústrias de diversos segmentos. Entre estes, destacam-se as indústrias automobilística, de construção ferroviária e naval, de bens de capital (principalmente máquinas e implementos agrícolas) e de base, como a siderúrgica (lingoteiras e cilindros); outros importantes demandantes de fundidos são o setor de mineração e fabricação de cimento (corpos moedores e peças de desgaste) e ainda o de extração/refino de petróleo (válvulas e outras peças). No entanto, dados estatísticos revelam que existe forte concentração das vendas (49%) para as indústrias montadoras de veículos e de autopeças, seguida da indústria siderúrgica, mecânica e de infra-estrutura, com, respectivamente, 15%, 11% e 4% do total da produção de fundidos. Na TAB. 2.1 está apresentada a produção por região de fundidos no ano e 2005/2006.

TAB. 2.1 Produção de Fundidos (*ton*), segundo região – 05/06

REGIÃO	JAN – OUT/05	JAN – OUT/06
São Paulo	877.920	991.805
Centro/MG	632.523	669.769
Sul	740.345	709.337
Rio de Janeiro	171.378	165.692
Norte/Nordeste	67.664	57.541

Fonte: ABIFA (2006)

O processo utilizado pela indústria de fundição, em sua essência, consiste na fusão de ferro, aço ou metais não-ferrosos, como cobre, zinco, alumínio e magnésio, visando obter certas propriedades para o produto final. Na forma líquida, os metais e suas ligas são vazados no interior de moldes confeccionados com areias especiais aglomeradas com resinas próprias para esse fim, com formatos que reproduzem o objeto pretendido.

No Brasil, a ocorrência abundante de sucata e minerais, mormente minério de ferro, além da disponibilidade energética e de insumos, como areia de fundição, bentonitas, resinas, catalisadores e coque de babaçu, contribuíram decisivamente para a definição do parque industrial de fundição nos moldes e dimensões atuais.

2.2 O PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Segundo CARNIN (2005) a fundição é um método mais curto para se obter peças metálicas acabadas. Consiste especificamente em verter metal líquido (vazamento) em caixas de moldagem com machos montados em seu interior, caracterizando a peça após a solidificação do metal.

Na FIG 2.1 está mostrada seqüência das operações na fundição de um metal qualquer em molde de areia, podendo-se distinguir as etapas descritas a seguir.

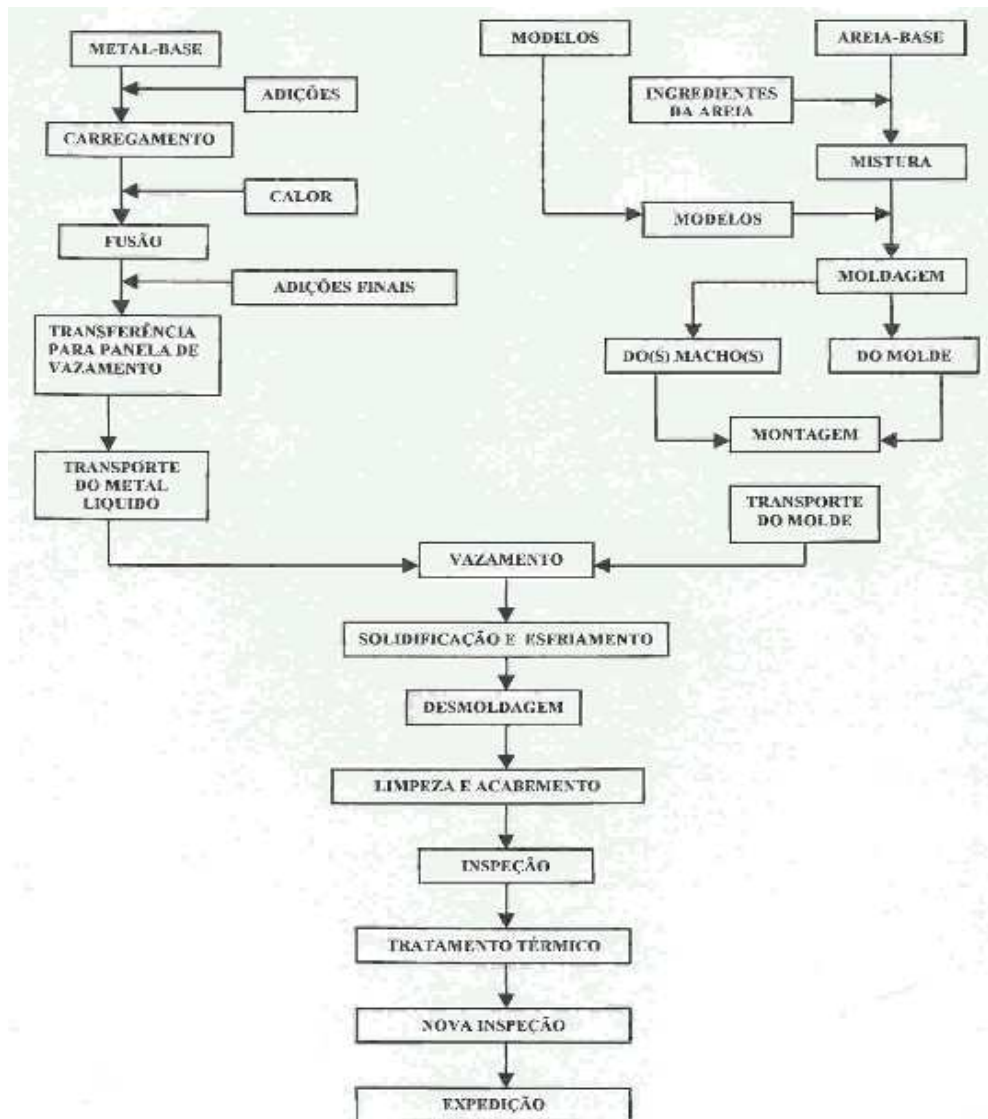


FIG. 2.1 Fluxograma das Etapas de Operação de uma fundição

Fonte: BRADASCHIA (1974)

Fabricação dos Modelos – Um modelo é uma peça feita de madeira, metal ou outro material adequado (cera, poliestireno ou resina epoxi), ao redor da qual é compactado o material de moldação, dando forma à cavidade do molde que receberá o material fundido, (BRADASCHIA, 1974). Primeiro é necessário um modelo do objeto a ser fundido, que pode ser manufaturado em madeira, metais ou outros materiais. O molde é feito por empacotamento de areia em torno do modelo, e toda a estrutura contida numa caixa de moldagem, que pode ser feita em duas partes, é preenchida pelo metal líquido, que solidifica e transforma-se em uma peça fundida (CAMPOS FILHO, 1978);

Fabricação dos Moldes – Dizem que os requisitos gerais de um molde são: conter uma cavidade que seja uma cópia fiel da forma da peça que deve ser reproduzida, suportar o processo de enchimento e extrair o calor do metal fundido de maneira a propiciar propriedades ótimas na peça, e poder ser construído e utilizado da maneira mais econômica possível. Os principais moldes são: os moldes metálicos, que podem ser usados repetidamente, ainda que com vida finita, e os moldes de areia de sílica ou outros materiais, que são quebrados para remover as peças (moldes consumíveis, embora alguns materiais de moldagem sejam, frequentemente reusados). Os processos de fundição, segundo o molde, podem ser classificados em: moldagem em areia, moldagem em casca, moldagem em gesso, moldagem por cera perdida, fundição de molde permanente, fundição sob pressão, fundição em molde cheio e fundição contínua. A moldagem em areia responde pela maior tonelagem de produção de peças fundidas, (MARIOTTO *et. al.* 1973);

Fusão – Na etapa de fusão, é obtido o estado líquido do metal com a utilização de fornos de fusão como: forno de cadinho, forno de reverberação, conversores, forno cubilô, forno de indução, forno de resistência elétrica e forno de arco elétrico, (CAMPOS FILHO, 1978);

Machos – Para que se produzam as superfícies internas em certas peças fundidas, colocam-se, no interior dos moldes de areia, peças sólidas conformadas ou machos, feitos de uma mistura de moldagem compatível com o metal a ser vazado e com o tamanho da peça fundida. (MARIOTTO *et. al.* 1973)

Solidificação – Após o processo de fusão, o metal em estado líquido é vazado no molde a uma temperatura adequada e com vazão controlada. A provisão de metal é feita pela alimentação do metal líquido por meio de um sistema de canais de alimentação existente no molde. Ao mesmo tempo faz-se uma grande abertura rebaixada, denominada de bacia de vazamento, para facilitar a entrada do metal líquido no molde. São abertos canais alargados para permitir que o metal escorra para fora da cavidade do molde após seu preenchimento, mantendo assim uma pressão metalostática durante a solidificação, (CAMPOS FILHO, 1978). Diz ainda o autor citado, que no processo de solidificação no molde, pode-se conseguir o controle da direção do crescimento da interface sólido/líquido por meio do controle do fluxo de calor no molde. A solidificação pode ser acelerada no local, pela utilização de resfriadores ou coquilhadores, que se constituem em aletas metálicas, capazes de extrair calor mais rapidamente que o material do molde. Ainda segundo o autor, usando materiais isolantes ou compostos exotérmicos, as condições de fluxo de calor podem ser controlados para permitir maior resfriamento numa região particular do molde. A melhor técnica de vazamento segundo

(RECUSANI FILHO, 1974), consiste na colocação da borda do cadinho ou da panela, o mais perto possível do canal de entrada, diminuindo a distância de queda do metal através do ar;

Desmoldagem – Terminada a solidificação, a peça fundida é removida do molde por um processo conhecido como desmoldagem. Em seguida, os machos são extraídos por impacto ou vibração e os alimentadores cortados. No caso da moldagem em areia a areia restante é removida e a peça fundida está pronta para as operações de usinagem superficial, denominada rebarbação, (CAMPOS FILHO, 1978). Depois que o metal é vazado, solidifica-se e resfria-se até a temperatura conveniente para a manipulação. Os fundidos devem ser retirados dos moldes para que a caixa seja levada de volta às máquinas, sendo vários os métodos para remover os fundidos do molde. O método mais comum é levantar a caixa de moldar superior, por meio de uma talha e bater nas mesmas com marreta ou martelo, (RECUSANI FILHO, 1974);

Limpeza e rebarbação – A limpeza e acabamento são muito importantes em uma fundição. Os machos ainda aderentes podem ser removidos martelando-se o canal, por uso de banhos, ultra-sons, etc. A limpeza da superfície das peças fundidas é conseguida por jato de areia, granalha de metal ou abrasivo orgânico (madeira, couro, etc.) (RECUSANI FILHO, 1974).

A moldagem em areia é a mais utilizada na produção de peças fundidas. Nos processos de fundição após a fusão, vazamento do metal, solidificação e resfriamento do metal no molde, ocorre a desmoldagem da peça, gerando nesta etapa os resíduos sólidos de areia de fundição.

2.3 GERAÇÃO DOS RESÍDUOS INDUSTRIAIS

A grande quantidade de resíduos gerados por alguns setores produtivos tem levado pesquisadores a buscar soluções, com o intuito de atender, as técnicas, econômicas, sociais e ambientalmente viáveis. O amplo consumo de matérias-primas pelas indústrias brasileiras para os mais diversos usos, associados aos princípios do desenvolvimento sustentável, conduz às pesquisas sobre reciclagem dos materiais descartados pelas indústrias com a finalidade do seu emprego racional e seguro em novos produtos ou em reaproveitamento. Para tratar a questão dos resíduos industriais, o Brasil possui legislação e normas específicas. Pode-se citar a Constituição Brasileira em seu Artigo 225, que dispõe sobre a proteção ao meio ambiente; a Lei 6.938/81, que estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente; a Lei 6.803/80, que

dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial em áreas críticas de poluição; as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA 257/263 e 258, que dispõem respectivamente sobre pilhas/baterias e pneumáticos. Além disso, a questão é amplamente tratada nos Capítulos 19, 20 e 21 da Agenda 21 (Rio-92).

Portanto, as pessoas físicas e jurídicas estão sujeitas às leis e regulamentações ambientais nas esferas federal e municipal. A Lei Federal no 9.605, promulgada em 12 de fevereiro de 1998 – “Lei de Crimes Ambientais” e regulamentada pelo Decreto Federal nº. 3.179, de 21 de setembro de 1999, trouxe um impulso adicional à proteção jurídica do meio ambiente, estabelecendo penalidades contra as pessoas físicas e jurídicas que cometerem violações ambientais.

Assim, a geração, o manuseio e o armazenamento seguro de rejeitos sólidos têm se tornado uma grande preocupação no Brasil. Enquanto o volume de rejeitos continua a crescer, a aprovação de instalações de processamento de rejeitos e de adequado armazenamento está se tornando cada vez mais difícil de ser obtida.

O rejeito de areia de fundição é gerado na indústria de fundição resultado do processo de fabricação de peças fundidas (molde e núcleo). Dependendo do processo de moldagem as misturas de areia de fundição contêm a areia de sílica, argila e aditivos combustíveis como o pó de carvão, e a água. Anualmente, no estado do Texas (EUA) e EUA são gerados aproximadamente cerca de 70.000 e 9.000.000 toneladas de rejeito de fundição, respectivamente. O volume é classificado como não perigoso e é depositado atualmente em aterros controlados. A escassez de espaço físico nos aterros e a necessidade de diminuir custos de descartes estimularam estudos para o reuso benéfico. Conseqüentemente, especialmente nos últimos anos, o reuso do rejeito de areia de fundição está crescendo em alguns setores da economia, dentre eles pode-se citar o setor de construção civil mais especificamente em obras de construção rodoviária como, por exemplo, a aplicação em camada de sub-base das estradas e em misturas asfálticas, etc. (ABICHOU *et. al.* 1999). Quando o reuso não é possível, tem-se que descartar em áreas de aterros. Sabe-se que o nível de toxidade depende do processo empregado, pois a contaminação se dá geralmente por certos metais durante o processo de moldagem (JAVED & LOWELL 1994, JAVED *et. al.* 1994, RUIZ *et al.* 2000).

2.4 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos são gerados durante a desmoldagem das peças fundidas nos processos de produção. Na Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 10004/87, foram padronizados procedimentos para caracterização e classificação dos resíduos sólidos, segundo as normas NBR 10.004 – Resíduos Sólidos – Classificação; NBR 10.005 – Lixiviação de Resíduos – Procedimentos; NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos Sólidos – Métodos de Ensaio e NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos – Procedimentos.

De acordo com as normas citadas é possível determinar a classificação dos resíduos baseando-se fundamentalmente em listagens de resíduos e de substâncias e na determinação de algumas características dos resíduos, tais como as apresentadas a seguir:

- a) Listagem 1 – Resíduos sólidos de fonte não especificada;
- b) Listagem 2 – Resíduos sólidos de fonte especificada;
- c) Listagem 3 – Constituintes perigosos (base para a relação de resíduos das listagens 1 e 2);
- d) Listagem 4 – Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos;
- e) Listagem 5 – Substâncias agudamente tóxicas;
- f) Listagem 6 – Substâncias tóxicas;
- g) Listagem 7 – Concentração – limite máximo no extrato obtido no teste de lixiviação;
- h) Listagem 8 – Concentração – limite máximo no extrato obtido no teste de solubilidade.

A pesquisa de classificação de um resíduo sólido deve necessariamente começar pela origem do resíduo. Após, verifica-se a presença de substâncias conforme listagem 1 e 2 ou 5 e 6. Quando não identificados nesta listagem, os resíduos devem ser conferidos em termos de constituintes, através da listagem 4, (são substâncias comprovadamente tóxicas). Se após isso ainda não for possível classificar o resíduo, deve-se avaliar sua periculosidade real, através da comprovação de pelo menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade toxicidade ou patogenicidade. Se classificado como resíduo não perigoso, deve-se submeter ao teste de solubilização, comparando os resultados obtidos com os padrões da listagem 8, classificando-os como resíduos inertes ou não inertes CETESB,

(1985) *apud*. SCHEUNEMANN (2005). A FIG. 2.2 mostra o fluxograma referente às etapas de classificação de um resíduo.

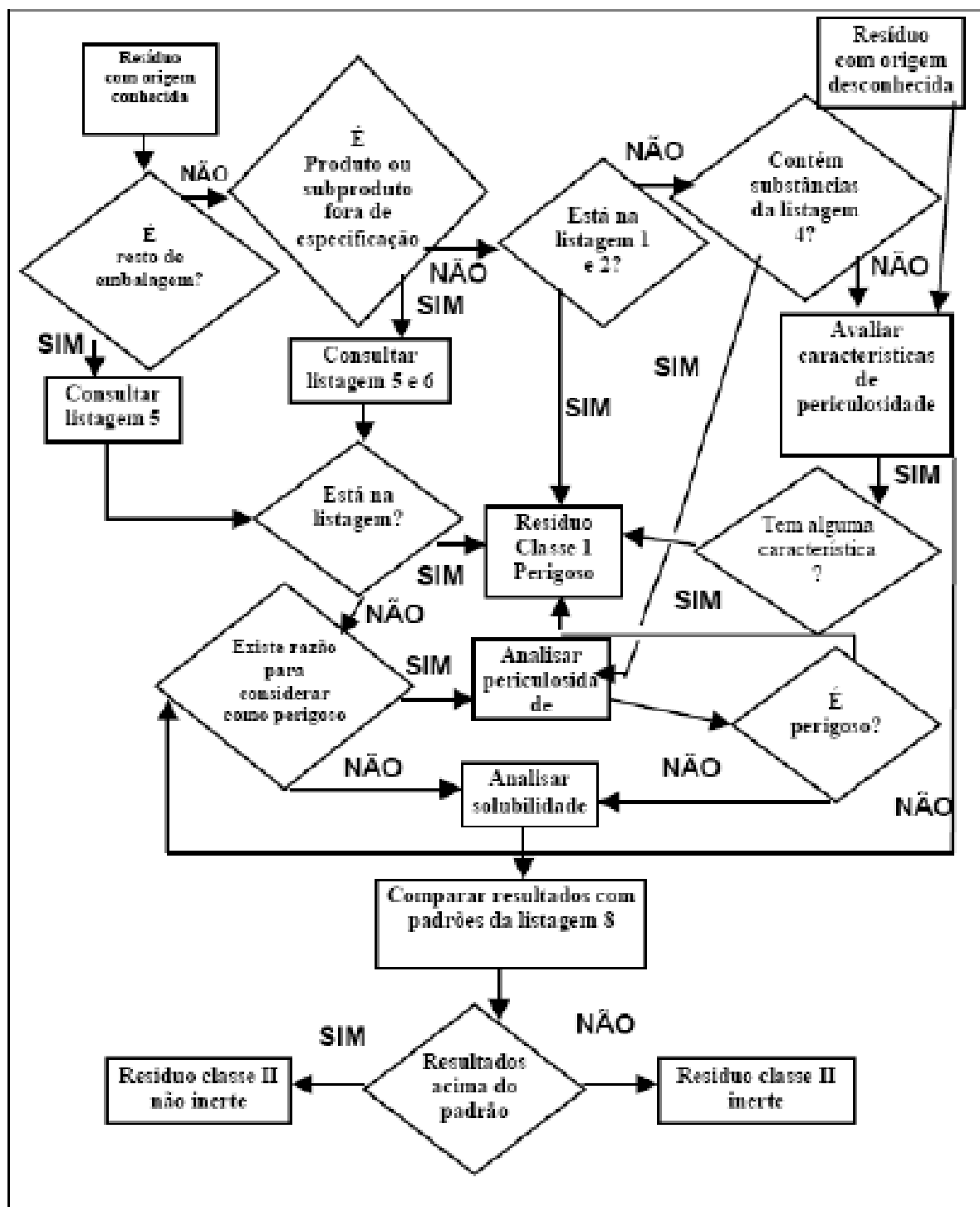


FIG. 2.2 Fluxograma das Etapas de classificação de resíduo
 Fonte: CETESB (1974B) *apud* SCHEUNEMANN (2005)

Na NBR 10004/2004, publicada em 31 de maio de 2004, as listagens citadas anteriormente foram atualizadas, tomando-se a forma a seguir:

- Listagem A – Resíduos perigosos de fontes não específicas;
- Listagem B – Resíduos de fontes específicas;
- Listagem C – Substâncias agudamente tóxicas;
- Listagem E – Substâncias tóxicas;
- Listagem F – Concentração – Limite máximo no extrato obtido no teste de lixiviação;
- Listagem G – Padrões para o teste de solubilização;
- Listagem H – Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.

Segundo CARNIN (2005) nas atividades de gerenciamento de resíduos, a NBR 10.004 é uma ferramenta imprescindível, sendo aplicada por instituições e órgãos fiscalizadores. A partir da classificação estipulada pela Norma, o gerador de um resíduo pode facilmente identificar o potencial de risco do mesmo, bem como identificar as melhores alternativas para destinação final e/ou reciclagem.

A NBR 10.004/2004 classifica os resíduos sólidos segundo o grau de periculosidade, em duas categorias, como Perigoso e Não-Perigoso.

Os resíduos perigosos apresentam periculosidade, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, podendo apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente quando manuseados e dispostos de forma inadequada.

Resíduos sólidos que apresentarem características como inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, são classificados como Resíduos Sólidos Classe I. Todavia, vale salientar que nem sempre o fato da simples presença nas Listagens C, D ou E implicará na sua classificação como Perigoso. Também deverão ser analisados: natureza da toxicidade apresentada pelo resíduo; concentração do constituinte no resíduo; potencial que o constituinte tem de migrar do resíduo para o ambiente sob condições impróprias de manuseio; persistência do constituinte ou de qualquer produto tóxico de sua degradação; potencial que o constituinte ou qualquer produto tóxico da sua degradação, tem em degradar-se em constituintes não perigosos considerando-se a velocidade em que ocorre sua degradação e a extensão em que o constituinte ou produtos da sua degradação são capazes de bioacumular nos ecossistemas (CARVALHO, 2005).

Os Resíduos Classe IIA – Não Inertes são os que não se enquadram nas classificações da Classe I ou IIB. Esses resíduos podem ter propriedades como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

Os Resíduos Classe IIB – Inertes são aqueles que amostrados de forma representativa conforme NBR 10.007 e submetidos aos testes segundo NBR 10.005 – não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem 8 (exceto quanto a aspecto, cor, turbidez e sabor), existente na NBR 10.004. São exemplos: rochas, tijolos, vidro e certos plásticos e borrachas que não são decompostos.

As decisões técnicas e econômicas em relação a todo o gerenciamento dos resíduos sólidos industriais (manuseio, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte e disposição final) deverão estar fundamentadas na classificação dos mesmos, conforme apresentado na TAB. 2.2. Contudo essa classificação é bastante complexa em determinados casos, e necessita ser verificado de acordo com sua origem.

TAB. 2.2. Origem, classes e responsáveis pelos resíduos

Origem	Possíveis Classes	Responsável
Domiciliar	II	Prefeitura
Comercial	II,III	Prefeitura
Industrial	I,II,III	Gerador do resíduo
Público	II,III	Prefeitura
Serviços de Saúde	I,II,III	Gerador do resíduo
Portos, aeroportos e terminais ferroviários	I,II,III	Gerador do resíduo
Agrícola	I,II,III	Gerador do resíduo
Entulho	III	Gerador do resíduo

Fonte: <http://www.ambientebrasil.com.br>

Os resíduos das classes I e II devem ser tratados e destinados em instalações apropriadas para tal fim. Por exemplo, os aterros industriais precisam de mantas impermeáveis e diversas camadas de proteção para evitar a contaminação do solo e das águas, além de instalações preparadas para receber o lixo industrial e hospitalar, normalmente operados por empresas privadas, seguindo o conceito do poluidor-pagador.

As indústrias tradicionalmente responsáveis pela maior produção de resíduos perigosos são as metalúrgicas, as indústrias de equipamentos eletro-eletrônicos, as fundições, a indústria química e a indústria de couro e borracha. Predomina em muitas áreas urbanas a disposição final inadequada de resíduos industriais, por exemplo, o lançamento dos resíduos industriais perigosos em lixões, nas margens das estradas ou em terrenos baldios, o que compromete a qualidade ambiental e de vida da população.

2.5 OS RESÍDUOS DE AREIA DE FUNDIÇÃO (R.A.F/A.D.F).

Os processos produtivos das empresas brasileiras, estão se aprimorando devido a crescente preocupação com o meio ambiente e com a qualidade. Mas em muitos casos, e principalmente no caso das areias de fundição, mesmo com um reaproveitamento parcial dentro dos processos produtivos, este material precisa ser disposto no meio ambiente na forma de aterros industriais. Seu descarte em aterros não é a solução mais indicada, devido à intensa fiscalização dos órgãos ambientais, e também da própria comunidade, que não mais aceita que as empresas lancem seus resíduos sólidos no ambiente. Os empresários, sob pressão da opinião pública, de órgãos não-governamentais, dos consumidores em geral e até mesmo dos investidores, vêem-se na obrigação de encontrar soluções para reaproveitar seus rejeitos e repensar suas estratégias de produção industrial.

O Brasil é tradicionalmente um dos maiores produtores mundiais de peças fundidas, tendo produzido no ano de 2006 aproximadamente 2,6 milhões de toneladas. Essa produção exige que a indústria de fundição brasileira processe anualmente entre 8 e 9 milhões de toneladas de areia verde e de macharia, das quais 7 a 8 milhões de toneladas são recicladas diretamente no processo e a diferença (da ordem de 1 milhão de toneladas) torna-se um excedente que tem sido descartado. O grande volume deste resíduo aliado a sua composição química o torna potencialmente tóxico ao meio ambiente se disposto irregularmente em aterros não controlados.

As fundições utilizam areias com características refratárias para a preparação dos moldes e machos que conformam as peças metálicas. De modo simplificado, pode-se dizer que os moldes conformam às faces externas da peças e os machos as faces internas (ABIFA, 1999). Segundo MARIOTTO (2000), uma vez montado o molde com os respectivos machos, o metal líquido é vertido em seu interior e ali permanece até solidificar. Após a solidificação, o molde é desagregado (desmoldagem) e a peça metálica é separada da areia, que retorna

quase integralmente para ser repreparada e destinada à confecção de novos moldes. Assim, a areia para a moldagem propriamente dita, é quase totalmente proveniente da reciclagem interna de areia já usada, a qual inclui parte da areia que constituía os machos e que, então, fica misturada à areia do molde. No entanto, a atual tecnologia de confecção de machos requer areias excepcionalmente limpa, empregando-se, para essa finalidade, areia nova. Essa entrada de areia nova na fundição gera um excedente de areia.

Segundo SCHEUEMANN (2005) para manter constante a quantidade total de areia em processamento na fundição, é necessário descartar regularmente uma quantidade de areia usada equivalente à quantidade de areia nova comprada. A areia a ser descartada é colhida em um ponto conveniente do sistema de transporte interno. Os pedaços de machos que não se desagregaram totalmente (torrões) e que ficaram retidos em uma peneira rotativa, também são rejeitados. Não fossem a presença de areia de macho, muitas areias descartadas pelas fundições poderiam ser classificadas como “inerte” (classe III) segundo a NBR 10004 da ABNT. Entretanto, a maioria acaba sendo classificada como “não-inerte” (classe II), enquanto que algumas, por conter quantidades elevadas de torrões (que têm concentrações de fenóis superiores aos limites admissíveis na norma), são classificadas como resíduo “perigoso” (classe I).

A disposição dessa areia em aterros gera problema ambiental sério, principalmente devido às quantidades envolvidas. A implementação de regulamentos ambientais mais restritivos nos últimos anos tem obrigado as fundições a destinar seus excedentes de areia para aterros controlados, muitas vezes distantes até 200 km, onerando consideravelmente seus custos.

Para minimizar os custos associados ao descarte de areia, as fundições precisam urgentemente adotar as seguintes medidas no sentido de:

- Reduzir desperdícios: redução de machos e moldes quebrados, dimensionamento correto da composição do sistema de areia;
- Identificar usos externos à fundição para a areia que seria enviada para aterro;
- Tratar a areia que seria descartada, de modo a remover e inertizar os contaminantes prejudiciais, possibilitando sua reintrodução na macharia ou na moldagem (regeneração).

Conforme ABIFA, (1999) para atender as exigências tecnológicas específicas dos moldes, as fundições utilizam vários tipos de ligantes ou aglomerantes, além de aditivos.

Considerando o sistema de ligante adotado, a indústria de fundição distingue dois tipos genéricos principais de areias de moldagem/macharia: a “areia verde” e a “areia ligada quimicamente”. A moldagem em areia a verde (FIG. 2.3) é o processo mais econômico, rápido e convencional de se dar forma a peças de ferro através do processo de fundição, sendo aplicada para a fabricação dos moldes que proporcionarão as faces externas das peças.



FIG. 2.3 Areia descartada de fundição – “Areia Verde”
Fonte: BINA (2002)

Nesse tipo de processo o agente aglomerante principal é uma argila umedecida, porém toda areia verde contém uma parcela ponderável de materiais orgânicos decorrentes do emprego de aditivos, tais como pó-de-carvão ou amido, e/ou da incorporação de machos desagregados à areia recirculante.

O termo “areia ligada quimicamente” aplica-se a uma grande variedade de materiais de moldagem e macharia que utilizam sistemas de ligantes orgânicos (tais como resinas furânicas, fenólicas, uretânicas, etc.), inorgânicos (como o silicato de sódio e o cimento portland) e mistos (como as resinas fenólicas alcalinas), e podem conter também aditivos (em geral inorgânicos, como o óxido de ferro), sendo empregadas na maioria das fundições para confeccionar os machos e, em vários casos, também para confeccionar os moldes.

Segundo os números de produção anual de fundidos por região em 2006 o total de areia descartada de fundição gerado apenas no Estado de São Paulo atingiu cerca de 3 milhões de toneladas anuais, requerendo à mineração igual quantidade de areia natural. Considerando os demais Estados, esses números praticamente dobram. A disposição dessa areia em aterros contribui de forma marcante para o agravamento dos problemas ambientais, principalmente nos grandes centros urbanos, constituindo tarefa potencialmente poluidora do solo e principalmente das águas superficiais e do subsolo.

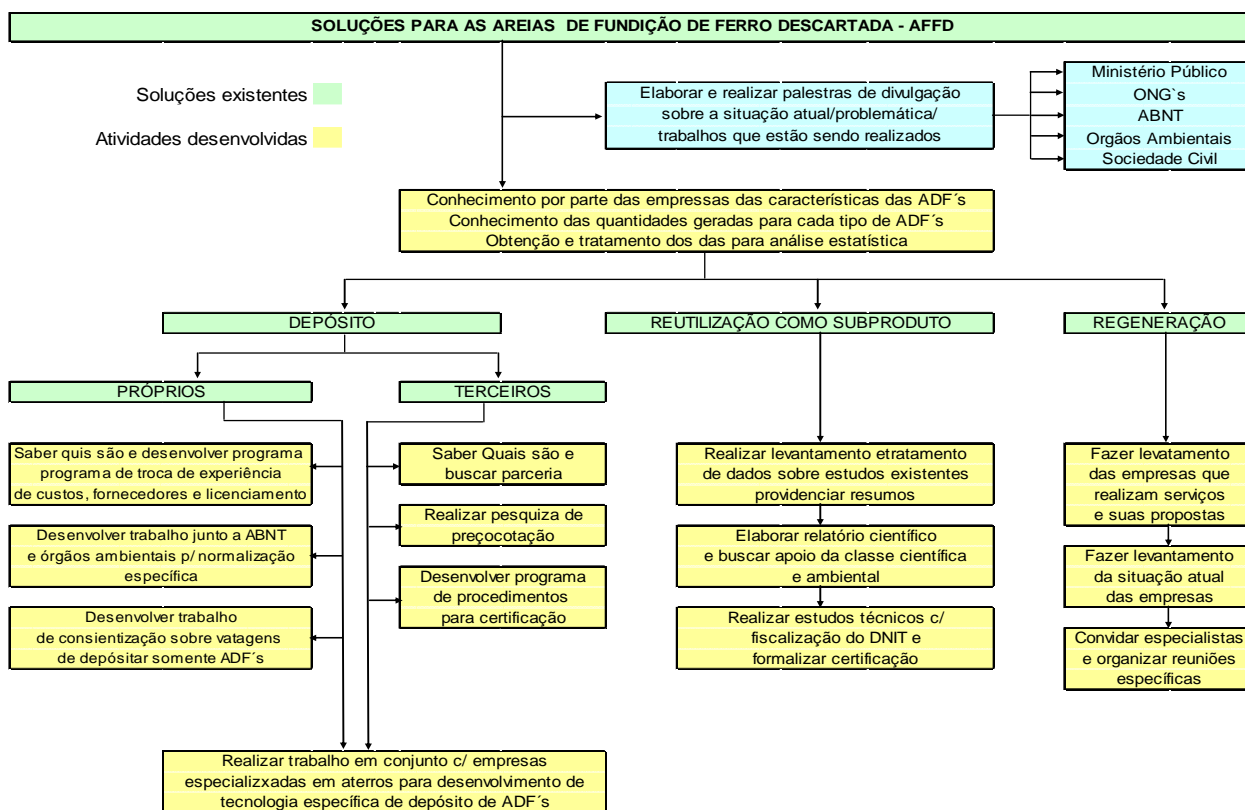


FIG. 2.4 Resumo das soluções de estudo para as ADFs
 Fonte: <http://www.solucoesadf.com.br>, capturado em maio de 2007

Segundo BONET (2002) o reuso dos resíduos areias de fundição, é uma opção para a indústria de fundição, a fim de diminuir seus custos de deposição final, ou seja, em aterros industriais. Devido à inexistência de tecnologias para a reciclagem total dos seus resíduos de areia de fundição, as empresas de fundição no Brasil estão partindo para novos estudos do reaproveitamento desses resíduos em outros segmentos da economia como a indústria de pavimentação rodoviária.

2.6 PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

“As rodovias são as vias de transporte terrestre mais antiga, tendo surgido como uma evolução natural das trilhas primitivas que foram ganhando melhoramentos com o passar dos tempos, como revestimentos de tijolos, pedra, madeira, misturas oleosas e também sistemas de drenagem, de forma a permitir uma melhor condição de tráfego nas épocas de chuva” BUSTAMANTE *apud*. GOUDARD (2001).

No Brasil em 2006 foram produzidos aproximadamente 1.864.970,00 m³ de massa asfálticas segundo o Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP). Como na formulação (traço) da mistura asfálticas usa-se aproximadamente 5% de asfalto e 95% de agregados, tem-se cerca de 5 milhões de toneladas/ano de agregados usados em mistura asfálticas no Brasil. A FIG. 2.5 apresenta a produção anual de asfalto

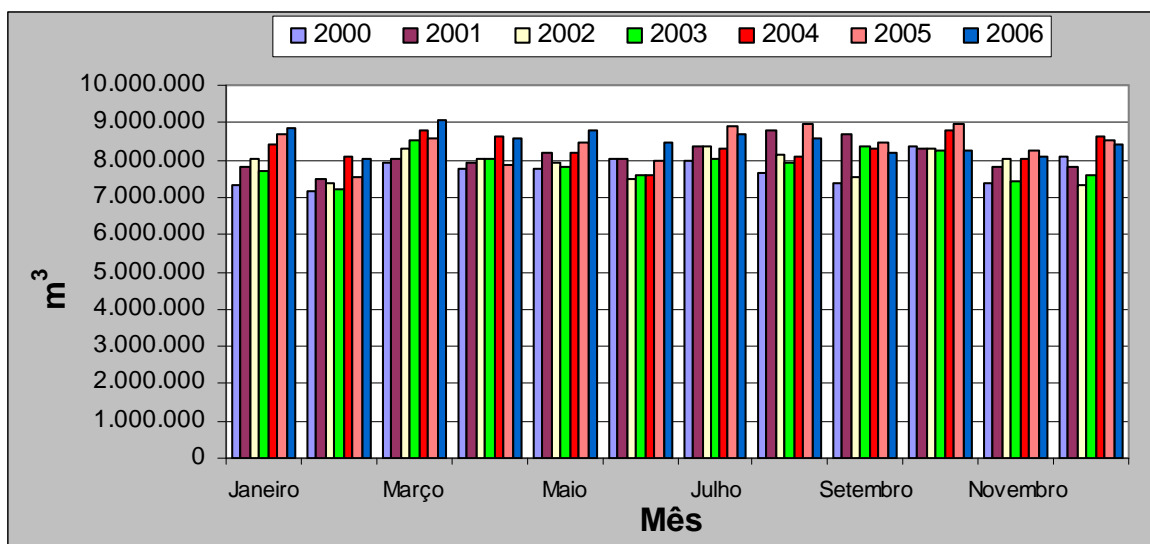


FIG. 2.5 Produção anual de Asfalto de 2000 a 2006 – Brasil

Fonte: <http://www.ibp.org.br>, capturado em junho/2007

O ligante asfáltico é um material sólido ou semi-sólido, de cor entre preta e parda escura, que ocorre na natureza ou é obtida da destilação do petróleo, que se funde gradualmente pelo calor, e no qual os constituinte predominantes é o betume.

Betume é um aglomerante orgânico, sólido, semi-sólido ou líquido, que pode ocorrer na natureza ou ser obtido por processo industrial; composto principalmente por hidrocarbonetos de massa molecular elevada. Segundo SELMO (2002) os betumes possuem as seguintes características básicas: são hidrocarbonetos complexos de ampla variação na composição química e na massa molecular; são adesivos e aglomerantes, que dispensam o uso da água, ao contrário dos aglomerantes minerais da construção civil (p. ex. cimento portland, cal, gesso); são hidrófugos, isto é, repelem água; são facilmente fundidos e solidificados; são termoplásticos, isto é, não possuem ponto de fusão, amolecendo em temperaturas variadas. O ponto de fusão, temperatura de perda da estrutura cristalina ordenada, é típico dos sólidos cristalinos e são inócuos, isto é, não interagem quimicamente com os agregados minerais (ou cargas), que lhe são adicionados como material de enchimento em diversas aplicações.

De acordo com SENÇO (1997) as principais propriedades dos pavimentos betuminosos podem ser assim resumidas em: adesividade entre o betume e os agregados, que permite a ligação entre os agregados; impermeabilidade; durabilidade das misturas e manutenção das propriedades do betume por muitos anos; manuseio a diversas temperaturas.

Os asfaltos (ligantes betuminosos) são classificados em três tipos: cimentos asfaltemos de petróleo (CAP's), asfaltos diluídos e emulsões asfálticas catiônicas. Estes ligantes em combinação com agregados diversos originam os vários tipos de serviços em pavimentação, a saber: imprimação, pintura de ligação, tratamentos superficiais, macadame betuminoso, pré-misturado a quente, pré-misturado a frio, areia-asfalto a quente, areia-asfalto a frio, concreto asfáltico, solo-betume, lama asfáltica, reciclagem de revestimento e micro revestimento (IBP, 1999).

Os materiais pétreos usados em pavimentação normalmente conhecidos sob a denominação genérica de agregados, podem ser naturais ou artificiais. Os primeiros, são aqueles utilizados como se encontram na natureza, como pedregulhos, os seixos rolados, entre outros, ao passo que os segundos compreendem os que necessitam uma transformação física e química do material natural para sua utilização, como a escória e a argila expandida (PINTO, 2003).

A norma brasileira de pavimentação, NBR 7207/82 – ABNT define pavimento como uma estrutura construída após a terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto a:

- a. Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b. Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c. Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tomando mais durável a superfície de rolamento.

Define-se pavimento como uma estrutura construída sobre o leito, constituída por uma ou várias camadas resistindo aos esforços oriundos dos veículos e transmitindo-os ao subleito, de modo a torná-lo compatíveis com sua capacidade de suporte. Tem como finalidade propiciar ao usuário segurança e conforto durante sua vida de serviço, de acordo com o princípio básico da engenharia de máximo benefício com o mínimo custo (SANTANA, 1996).

De forma genérica os pavimentos classificam-se em pavimentos flexíveis, semi-rígidos e rígidos. Os pavimentos flexíveis são aqueles em que todas as camadas sofrem deformação

elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalente entre as camadas. Os pavimentos semi-rígidos caracterizam-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias, como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestido por uma camada asfáltica. Já os pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento apresentam uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

O revestimento é a camada do pavimento que receberá diretamente os esforços normais e tangenciais aplicados pelas rodas dos veículos, deve ter um bom desempenho mecânico, na compressão de seus materiais e nas flexões sofridas pela camada. A base do pavimento, se flexível, é uma camada tipicamente granular que trabalha essencialmente à compressão vertical, e para não sofrer ruptura ou deformações indesejáveis, deve ser suficientemente estabilizada e constituída por materiais resistentes.

A sub-base é a camada do pavimento subjacente à base que fornecendo o necessário suporte à mesma, transmite à camada de subleito esforços normais compatíveis com a capacidade de suporte desta, podendo estas sub-bases ser granulares ou coesivas. Geralmente a camada de sub-base é formada por material de capacidade de suporte superior ao do subleito e visa permitir reduções na espessura da camada de base.

2.7 PROJETO DE MISTURAS ASFÁLTICAS

2.7.1 REVESTIMENTO ASFALTICO

Os revestimentos asfáltico são aqueles que utilizam como elemento de aglutinação dos agregados os materiais betuminosos. Por se tratar de produtos que causam malefícios à saúde humana os alcatrões deixaram de ser utilizados em pavimentações no Brasil.

Segundo PINTO (2000) os revestimentos betuminosos devem ser capazes de:

- a. Suportar as cargas provenientes do tráfego;
- b. Proteger as camadas subjacentes do pavimento;
- c. Proporcionar boa condição de rolamento;
- d. Apresentar flexibilidade;
- e. Resistir à ação abrasiva do tráfego;
- f. Resistir às intempéries.

Quando um revestimento asfáltico é muito espesso costuma-se, por motivos econômicos justificados tecnicamente, subdividi-los em mais de uma camada como por exemplo à camada de rolamento ou capa que é a camada de revestimento asfáltico que recebe diretamente os esforços normais e tangenciais oriundos dos veículos e transmite-os às camadas subjacentes, de acordo com a sua capacidade de suporte, e a camada de ligação ou binder que é a camada de revestimento asfáltico subjacente à camada de rolamento que, fornecendo o necessário suporte à mesma, transmite à camada subjacente esforços normais compatíveis com a capacidade de suporte desta.

Os revestimentos betuminosos podem ser classificados pelos materiais constituintes e técnicas de execução. Os revestimentos são, normalmente, divididos em dois grupos principais: por penetração e por mistura, conforme apresentado na TAB 2.3.

TAB. 2.3 Classificação dos Revestimentos Betuminosos

REVESTIMENTOS BETUMINOSOS	POR PENETRAÇÃO	DIRETA OU INVERTIDA	MACADAME BETUMINOSO		
			TRATAMENTO SUPERFICIAL	SIMPLES	
				DUPLO	
	TRIPLO				
	POR MISTURA	EM USINA	A QUENTE	CONCRETO BETUMINOSO	
				PRÉ MISTURADO	DENSO
					ABERTO
			AREIA ASFALTO		
			A FRIO	PRÉ MISTURADO	DENSO
					ABERTO
AREIA ASFALTO					
NA ESTRADA	MISTURAS GRADUADAS				

Fonte: PINTO (1997)

Revestimentos por penetração são executados pelo espalhamento intercalado de ligante e agregado diretamente sobre a pista. Esse tipo de revestimento é mais econômico e é indicado para rodovias de baixo volume de tráfego ou para primeira fase de uma pavimentação por etapas.

O revestimento por mistura pode ser definido como uma mistura de materiais granulares, material de enchimento e ligante asfáltico em proporções pré-definidas. Na mistura asfáltica o ligante atua como agente aglutinante, desenvolvendo uma ligação íntima entre os agregados, permitindo que o pavimento resista à ação mecânica de desagregação

ocasionada pela ação das cargas geradas pelo tráfego e, como impermeabilizante, garante resistência à ação da água.

Os agregados minerais unidos pelo ligante asfáltico proporcionam resistência mecânica e flexibilidade à camada de revestimento. O comportamento da mistura é regido pelas propriedades de seus componentes e pelo modo como interagem entre si, e, portanto, apresentam propriedades elásticas de um sólido (agregados) e comportamento viscoso dos líquidos (ligante), ou seja, as misturas asfálticas têm propriedades termo-viscoelásticas e tem seu estado de deformação dependente da temperatura e do tempo de aplicação da carga.

O macadame betuminoso é uma camada realizada por intermédio de duas aplicações alternadas de ligante betuminoso sobre agregados de tamanho e quantidades especificadas, espalhada, nivelada e comprimida na pista.

Os tratamentos superficiais são revestimentos obtidos por aplicação separada e seqüencial de ligante betuminoso e agregado mineral de granulométrica previamente especificada. Tratamentos Superficiais de penetração invertida constituem um revestimento de material betuminoso e agregado mineral, no qual o agregado é colocado uniformemente sobre o material asfáltico, aplicado em uma só camada (TSS) ou constituído de duas aplicações de material asfáltico, cobertas cada uma, por agregado mineral (TSD), ou até constituído de três aplicações de material asfáltico, cobertas, cada uma, por agregado mineral, (TST), e submetido às operações de compressão e acabamento das camadas, IBP (1986).

O concreto asfáltico (CA) é um revestimento flexível, resultante da mistura a quente, em usina apropriada, de agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (filer – eventualmente) e cimento asfáltico de petróleo (CAP) de acordo com proporções definidas previamente em laboratório, de forma a atender os requisitos granulométricos, de densidade, de vazios e de resistência, compatíveis com padrões preestabelecidos. Um concreto asfáltico, se caracteriza pelo fato de que a operação de mistura é precedida pelo aquecimento de seus componentes às temperaturas elevadas (entre 140° C e 180° C), e sua distribuição e compactação na pista serem em temperaturas entre 80° C e 140° C, conforme mostra a FIG. 2.6. Devido à ligação entre agregados, o concreto asfáltico é capaz de resistir bem às ações mecânicas de desagregação produzida pelo tráfego.

O pré-misturado a quente (PMQ) é o produto resultante da mistura a quente, em usina apropriada, de um ou mais agregados minerais e cimento asfáltico espalhado e comprimido a quente. O pré-misturado a quente também pode ser utilizado como camada de regularização, base ou como revestimento.

O pré-misturado a frio (PMF) é uma mistura executada a temperatura ambiente em usina apropriada, composta de agregado mineral graduado, material de enchimento (filer) e emulsão asfáltica, espalhada e compactada a frio.

A areia asfalto (AAUQ) é uma mistura asfáltica executada a quente em usina apropriada, produzida com uso areia (agregado miúdo), com ou sem material de enchimento (filer) e ligante asfáltico, sendo a principal diferença entre a areia asfalto e o concreto asfáltico a ausência de agregados graúdos, além da existência de diferenças de custo, resistência e de durabilidade.



FIG. 2.6 Espalhamento e compactação de mistura asfáltica CA
Fonte:<http://www.prodesivo.com.br>, capturado em maio/2007

2.7.2 DOSAGEM DE MISTURAS ASFÁLTICAS

Um bom desempenho do revestimento asfáltico está relacionado à obtenção de uma curva de graduação de agregados e teor de ligante asfáltico que satisfaçam as especificações adotadas para a dosagem, para sê-la durável e resistente a fraturas e desagregações, sem se tornar instável ao tráfego e às condições climáticas. Para obter-se uma mistura com tais características é imprescindível um bom projeto de dosagem em laboratório.

Existem vários métodos de dosagem de misturas asfálticas, dentre os quais, pode-se citar:

- a. Método Marshall;
- b. Método Hubbard-Field;
- c. Método Hveem;
- d. Método Superpave;
- e. Método triaxial de Smith.

Cada um desses métodos possui critérios próprios que objetivam o estabelecimento de relações entre os ensaios de laboratório e os resultados obtidos *in situ*, sob as condições usuais de serviço. Geralmente, os métodos empregados são: Hveem, usado nos Estados Unidos, Smith, usado mais no campo de pesquisa, e o método Marshall, o mais usado no Brasil.

Segundo SENÇO (1997) até o início da 2ª Guerra Mundial, o Corpo de Engenheiros Militares Americano (USACE) não dispunha de nenhum tipo de ensaio simples para o projeto e controle de campo para serviços de pavimentação betuminosa e nem como determinar o teor ótimo de betume para misturas com finalidade de suportar as enormes cargas dos aviões e viaturas militares. O problema foi resolvido com o desenvolvimento do método de dosagem Marshall.

MOTTA *et al.* (1992) *apud.* ALBUQUERQUE (2005) afirmam que embora a tendência mundial possa ser de abandonar o ensaio Marshall, sua ampla divulgação no país, talvez faça com que ainda seja utilizado por muito tempo.

2.8 MÉTODO DE DOSAGEM DE CONCRETO ASFÁLTICO

O Ensaio Marshall foi desenvolvido em 1930 pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Mississippi nos EUA, tendo como objetivo determinar a quantidade de ligante asfáltico a ser utilizado na mistura asfáltica.

Segundo HILLS (1973) *apud.* AMARAL (2000) uma das propriedades mais importantes de uma mistura asfáltica é sua estabilidade, ou seja, sua habilidade em resistir à deformação permanente quando sujeito à passagem de veículos ou mesmo quando sujeito aos veículos estacionados. Entretanto, testes de laboratório como, por exemplo, o ensaio Marshall, para concretos asfálticos, idealizados para medir a estabilidade dessas misturas, são empíricos em sua essência.

O método Marshall para projeto de uma mistura de concreto asfáltico consiste inicialmente em determinar a porcentagem dos diversos agregados minerais utilizados para que se enquadre numa faixa especificada recomendada pelo DNIT 031/2006-ES, conforme apresentado na TAB. 2.4. Em seguida, procura-se determinar a quantidade de cimento asfáltico (teores de asfalto variando normalmente de 4,5% a 6% que, misturado ao agregado, proporcione uma boa mistura satisfazendo os requisitos mínimos de estabilidade determinada pelas especificações. Na realização do ensaio Marshall é determinado elementos como densidade e estabilidade.

A referida norma ainda estabelece valores de parâmetros mecânicos conforme apresentado na TAB. 2.5.

TAB. 2.4 Faixa Granulométrica e requisitos para concreto asfáltico

Peneiras		Faixas				Tolerâncias
ASTM	Abertura (mm)	Porcentagem em massa, passando (%)				
		A	B	C		
2"	50,8	100	-	-	-	
1 1/2"	38,1	95 a 100	100	-	± 7,0%	
1"	25,4	75 a 100	95 a 100	-	± 7,0%	
3/4"	19,1	60 a 90	80 a 100	100	± 7,0%	
1/2"	12,7	-	-	80 a 100	± 7,0%	
3/8"	9,5	35 a 65	45 a 80	70 a 90	± 7,0%	
Nº4	4,8	25 a 50	28 a 60	44 a 72	± 5,0%	
Nº10	2,0	20 a 40	20 a 45	22 a 50	± 5,0%	
Nº40	0,42	10 a 30	10 a 32	8 a 26	± 5,0%	
Nº80	0,18	5 a 20	8 a 20	4 a 16	± 5,0%	
Nº200	0,075	1 a 8	3 a 8	2 a 10	± 2,0%	
Teor de asfalto, %		4,0 a 7,0	4,5 a 7,5	4,5 a 9,0	± 0,3%	
Tipo de camada de revestimento asfáltico		camada de ligação	camada de ligação ou rolamento	camada de rolamento		

Fonte: DNIT 031/2006-ES

TAB. 2.5 Parâmetros físicos e mecânicos das misturas tipo concreto asfáltico

Características	Capa de Rolamento (DNIT 031/2006-ES)
Porcentagem de vazios (%)	3 a 5
Relação Betume/Vazios (%)	75 a 82
Estabilidade mínima (Kgf)	500
Resistência à tração por compressão diametral estática a 25° C, mínima (MPa)	0,65

Segundo PINTO (2004) a estabilidade de uma mistura representa, em última análise a resistência oferecida pela mesma aos esforços de cisalhamento. A resistência ao cisalhamento é atribuída ao atrito entre as partículas do agregado e a coesão ocasionada pela presença do ligante. A resistência friccional está intimamente ligada às características do agregado. É mais elevada quando se dispõe de partículas de forma angulosa e superfície áspera. Fato oposto se verifica em agregados de forma arredondada e superfície relativamente lisa. Além disso, a adição excessiva de ligante pode reduzir de tal modo a resistência friccional que a mistura se torna instável.

A resistência de misturas betuminosas determinada no procedimento Marshall é denominada de Estabilidade e a deformação é denominada de Fluência. Tem-se que:

Estabilidade Marshall – Resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo-de-prova, quando moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido no método, expressa em N (Kgf).

Fluência Marshall – Deformação total apresentada pelo corpo-de-prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro (centésimo e polegadas).

2.9 MÉTODO DE DOSAGEM DE PRÉ-MISTURADO A FRIO - PMF

O pré-misturado a frio (PMF) consiste em misturas usinadas de agregados graúdos, miúdos e de enchimento, misturados com emulsão asfáltica de petróleo (EAP) à temperatura ambiente

Segundo SANTANA (1993) os PMFs começaram a se desenvolver nos EUA, na década de 50, e no Brasil, a partir da década de 60, em forma de PMFA (pré-misturado a frio de graduação aberta) com emulsão catiônica de ruptura média como camada de regularização e reforço, na restauração da primeira pista da Rodovia Presidente Dutra (trecho Rio/São Paulo BR-116). No fim da década de 60 e durante a de 70 os PMFAs e PMFDs (pré-misturado a frio de graduação densa) foram largamente utilizados como camadas de regularização, reforço, base e binder nas principais rodovias do país e em menor escala como revestimento. Na década de 80 generalizou-se o emprego de PMFDs (pré-misturado a frio de graduação densa) com RL-1C em revestimentos delgados (espessuras menores que 5 cm), sem capa selante.

Segundo SENÇO (2001) as misturas a frio oferecem a grande vantagem de permitir estocagem por algum tempo. Essa possibilidade dá grande tranquilidade ao esquema de produção e aplicação, pois a linha contínua entre os silos frios e a rolagem, passando pela usinagem, transporte e aplicação, que deve ser rigorosamente seguida no concreto asfáltico e no pré-misturado à quente, pode ser interrompida ou suspensa no pré-misturado a frio. Uma deficiência qualquer que interrompa a aplicação na pista não impõe que necessariamente, seja interrompida a usinagem, pois as misturas a frio apresentam trabalhabilidade por algum tempo.

MOTTA *et. al* (2007), ressalta o aspecto funcional, estrutural e hidráulico do PMF, que varia de acordo com o volume de vazios, e é função da granulometria escolhida. O mesmo autor define ainda o PMF como uma mistura preparada em usina apropriada, com agregados de vários tamanhos, emulsão asfáltica catiônica em geral, espalhada e compactadas na pista à

temperatura ambiente, podendo aquecer ou não o ligante, usada como camada de base ou revestimento, que pode ser executado em três categorias:

- Aberto (PMFA): com pequena ou nenhuma quantidade de agregado miúdo e com pouco ou nenhum fíler, ficando após a compactação, com volume de vazios (V_v) elevado $22 < V_v < 34\%$;
- Semidenso: com quantidade intermediária de agregado miúdo e pouco fíler, ficando após compactação com um volume de vazios intermediário, $15 < V_v < 15\%$;
- Denso (PMFD): com agregado graúdo, miúdo e de enchimento, ficando após a compactação com volume de vazios relativamente baixo, $9 < V_v < 15\%$.

Segundo SANTANA (1993) a classificação dos PMFs envolve a granulometria, que informa sobre a quantidade de argamassa e de mástique (fundamentalmente para os aspectos de fadiga e de estabilidade) e a porcentagem de vazios que informa sobre a permeabilidade ao ar (envelhecimento do ligante) e à água (comportamento hidráulico), assim como a mecânica do funcionamento da mistura, a sensibilidade ao teor de asfalto e a adesividade. A granulometria é praticamente invariável, a porcentagem de vazios é muito sensível a porcentagem de asfalto, a porcentagem de água e solvente na emulsão e a energia de compactação – diminuindo, mais ou menos fortemente, com o binômio cura/consolidação função do tráfego e das condições locais do clima.

Existem vários métodos de dosagem dos PMFs, dentre eles pode-se citar o americano Chevron, US – Forestal Service e FHWA – *Federal Highway Administration*. No Brasil, praticamente só se usa para os PMFs o Método de dosagem Marshall, que determina do teor de asfalto residual (e conseqüentemente o de emulsão) definido pelo método da área específica. Usa-se o método Marshall modificado na forma do DNER ME 107 para verificação das condições de vazios, estabilidade e fluência da qual se apresenta conforme FIG. 2.7.

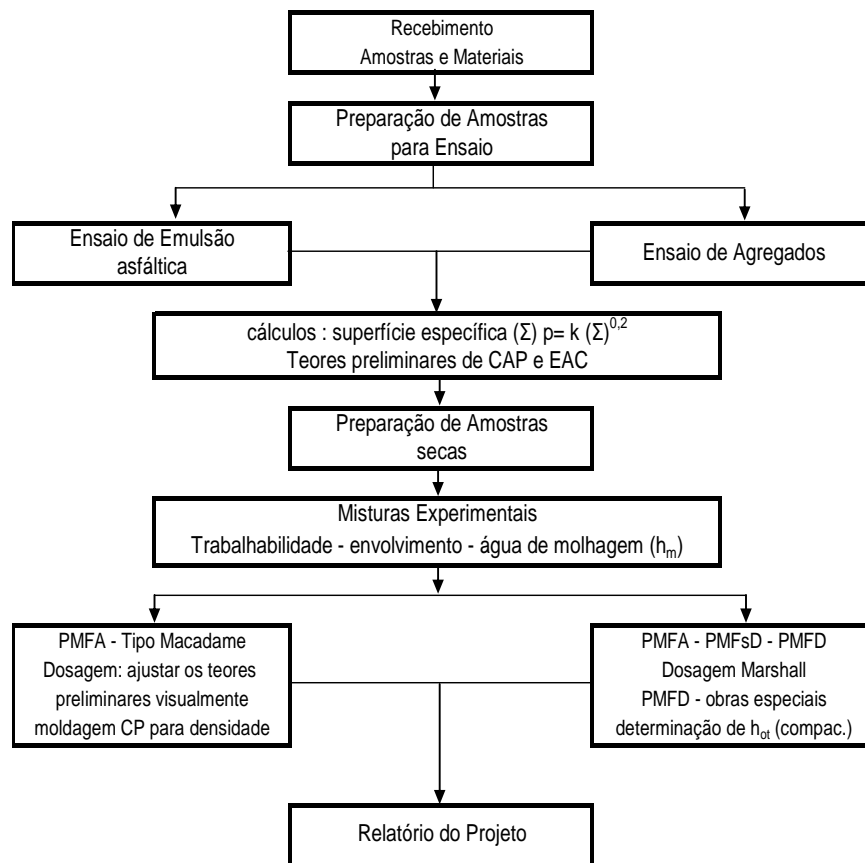


FIG 2.7 Fluxograma Método Marshall modificado para PMFs
Fonte: adaptado de SANTANA (1992)

A especificação técnica DNER-ES 317/97 se aplica a esses tipos de misturas asfálticas. Um resumo dessas especificações no que se refere às graduações e a alguns requisitos de dosagem é mostrado na TAB. 2.6.

TAB. 2.6 Faixa Granulométrica e características de dosagem para PMF

Peneiras		Faixas				
ABNT	Abertura (mm)	Porcentagem em massa, passando (%)				
		A	B	C	D	
1"	25,4	100	-	100	-	Tolerâncias
3/4"	19,0	75 a 100	100	95 a 100	100	± 7,0%
1/2"	12,5	-	75 a 100	-	95 a 100	± 7,0%
3/8"	9,5	30 a 60	35 a 70	40 a 70	45 a 80	± 7,0%
N°4	4,8	10 a 35	15 a 40	20 a 40	25 a 45	± 5,0%
N°10	2,0	5 a 20	10 a 25	10 a 25	15 a 30	± 5,0%
N°200	0,075	0 a 5	0 a 5	0 a 8	0 a 8	± 2,0%
Teor de asfalto, % sobre o total da mistura		4,0 a 6,0				± 0,3%
Volume de vazios, %		5 a 30				
Estabilidade, KN, mín.		25 (compactação de 75 golpes por face) 15 (compactação de 50 golpes por face)				
Fluência, mm		2,0 a 4,5				

Fonte: DNER – ES 317/97

2.10 USO DE REJEITO INDUSTRIAL EM PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Existem diferenças enormes nos tipos e nas características dos vários rejeitos sólidos gerados na indústria, assim como também de aplicações para as quais eles são adequados. Além disso, a experiência no uso dos rejeitos em pavimentação rodoviária pode variar consideravelmente dependendo das diferenças climáticas e dos procedimentos construtivos.

LEAL *et. al.* (2005) investigaram a potencialidade do uso de rejeitos do corte de mármore e granitos como fíler em concreto asfáltico (CA). O potencial de uso do rejeito industrial é mostrado por meio de uma comparação de resultados de ensaio entre uma mistura de controle e misturas com diferentes teores de rejeito. O comportamento das misturas foi caracterizado por meio de um programa experimental utilizando diferentes teores de rejeitos e alguns métodos de ensaio. Foram realizados ensaios como estabilidade Marshall, tração indireta, módulo de resiliência e ensaio de velocidade do pulso ultra-sônico. Por fim, pode-se concluir que estes rejeitos industriais são um fíler barato, que podem ser utilizados em misturas betuminosas.

PIRES (2006) apresenta os resultados realizados em misturas betuminosas a quente do tipo concreto asfáltico (CA) executada em pista experimental com grande sucesso em rodovia de tráfego pesado, tendo como agregados graúdos e finos o produto de refugos de ardósia, sendo este proveniente de industrialização da rocha matriz para fins ornamentais na construção civil. O trabalho teve como base a observação de um pavimento (CA) executado

há cerca de 40 anos com esse mesmo material proveniente da britagem da rocha matriz valorizando ainda mais o trabalho sob o ponto de vista técnico, mas, acima de tudo, ecológico.

CASTELO BRANCO (2004) avalia o potencial de utilização da escória de aciaria elétrica como agregado em misturas asfálticas do tipo Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ). As misturas experimentais foram dosadas com diferentes proporções de escória, 40,0%, 60,0% e 80,0%, aproximadamente. Os parâmetros da dosagem Marshall foram obtidos para as misturas asfálticas utilizando o CAP 50/70, substância adesivadora comercial DOPE, escória de aciaria, areia de campo e fíler mineral. Utilizou-se a faixa “C” do DNER para CBUQ. As misturas foram avaliadas mecanicamente através dos ensaios de Resistência à Tração estática por compressão diametral (RT), Módulo de Resiliência (MR), fadiga por compressão diametral a tensão controlada e resistência a tração retida por umidade induzida. As misturas com utilização de escória de aciaria foram comparadas com uma mistura dosada somente com agregados naturais, isto é, brita ¾ pol. e 3/8 pol. (origem granítica), pó de pedra, areia de campo, fíler mineral e o mesmo CAP.

Atualmente no Brasil o uso de rejeito de areias de fundição (RAF/ADF) como agregados finos em misturas asfálticas a quente, vêm sendo pesquisado mas não muito praticado. A durabilidade dessa areia como um substituto do agregado fino usado na produção de misturas a quente é uma das determinantes principais de quanto tempo o pavimento asfáltico pode permanecer em serviço. A partir da década de 80, a *Federal Highway Administration*, (FHWA) desenvolveu um programa de avaliação de fontes possíveis e variadas de agregado apropriados. Este programa de avaliação, conhecido como SUPERPAVE, com ampla aceitação em especificações asfálticas. As areias de fundição são mais finas do que areias convencionais utilizadas em misturas asfálticas, mas tipicamente devem atender a alguns requisitos.

Segundo a FHWA - *Federal Highway Administration do Departamento de Transportes de Washigton* (2004) a areia de fundição tem sido usada com sucesso para substituir uma parcela do agregado fino que é usado em misturas asfálticas convencionais. Os estudos mostraram que essa areia de fundição pode ser usada para substituir entre 8 e 25% do agregado fino. As misturas do asfalto que contêm a areia de fundição podem ser projetadas usando métodos de projeto padrão como o Marshall e Hveem. Assim a areia de fundição pode ter um alto benefício-custo para a indústria de fundição bem como para a indústria de construção rodoviária.

Ainda segundo a FHWA (2004) na Pensilvânia são produzidos anualmente 10.000.000,00 de toneladas de misturas asfálticas para pavimentação. Dois milhões de

toneladas de agregado fino são necessários. Embora a areia descartada de fundição não possa ser usada para substituir a quantidade total do agregado fino, ela pode ser usada para substituir até aproximadamente 15%. Isto permitiria um ganho significativo na quantidade desse resíduo a ser usada todos os anos na Pensilvânia.

Os departamentos de transporte (DOT) da Pensilvânia, Michigan e Tennessee permitem o uso da areia de fundição descartada em misturas asfálticas convencionais. O DOT da Pensilvânia permite o uso de 8 a 10%. Misturas asfálticas produzidas em Michigan usam de 10 a 20% de areia de fundição em substituição ao agregado convencional, encontrada em especificações no DOT de Michigan. Um outro produtor de misturas asfálticas a quente em Tennessee sugere, que a mistura com a areia de fundição deve utilizar 10% do agregado fino para cumprir melhor desempenho em relação àquelas que contêm a areia lavada de rio. Em Ontário, Canadá, usou-se a areia descartada de fundição como um substituto do agregado fino por 10 anos em camadas de pavimentação e em misturas asfálticas a quente.

CIESIELKI¹ *et al.* (1994) *apud*. CARNIN (2005), através do programa americano de pesquisa em prática rodoviária realizaram testes utilizando areias de fundição como subprodutos em pavimentos asfálticos. O desempenho foi satisfatório em pavimentos projetados com misturas betuminosas usinadas à quente, incorporando até 15% de resíduo “areia verde” de fundição na mistura de agregados. Com o uso de um percentual maior, as amostras foram suscetíveis à umidade, devido ao desprendimento da película de asfalto das partículas de agregados em função da natureza hidrófila da ADF, ocorrendo a perda do agregado fino da mistura e a deterioração acelerada do pavimento. Entretanto, foi verificado que o problema pode ser mitigado utilizando aditivos melhoradores de adesividade.

¹CIESIELSKI, S. K.; COLLINS, R. J. Recycling and Use of Waste Materials and Byproducts in Highway Construction. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 199. Transportation Research Board. Washington, 1994.

Atualmente, algumas aplicações de resíduo de areia de fundição, como material de aterro e na produção de concreto de cimento Portland já são conhecidas. Os padrões e as especificações para estas aplicações têm sido desenvolvidos e o resultado prático é completamente aceitável devido aos desempenhos comprovados. Entretanto, outras aplicações, tais como a aplicação em camada de sub-base, misturas asfálticas, etc., são menos desenvolvidas e nenhuma especificação está disponível no Brasil. A ausência destas aplicações é um obstáculo para o reuso da areia de fundição (JAVED & LOWELL² 1994; ABICHOU^{3;4} *et al.* 1998, 2000; BRAHAM⁵ 2002 *apud.* DEMIRBAS *et al.* 2006).

DEMIRBAS *et al.* (2006) realizaram pesquisa para avaliar o potencial do uso de areia de fundição descartada em misturas asfálticas, como substituto parcial de areia natural, sendo o material utilizado para o estudo o da empresa de fundição de Bozuyuk, Turquia. Como resultado, das experiências realizadas em amostras de concreto asfáltico, pode-se concluir que a adição de resíduos em quantidades maiores que 10% diminui a estabilidade Marshall significativamente, de 12,10 kN com 0% WFS para 10,90 kN com o 10% WFS adicionado. Assim o autor sugere que para uso prático, a parcela de WFS como um subproduto no concreto asfáltico deva ser limitada em aproximadamente 10%.

²JAVED, S. & LOWELL, C.W. (1994) *Uses of Waste Foundry Sand in Civil Engineering. Uses of Waste Foundry Sand in Highway Construction; Final Report*, pp. 109–113. Geotest Engineering, Inc., Houston, Texas, USA.

³ABICHOU, T., BENSON, C.H., EDIL, T.B., & Freber, B.W. (1998) Using waste foundry sand for hydraulic barriers, *ASCE American Society of Civil Engineers, Geotechnical Special Publication*, **79**, 86–99.

⁴ABICHOU, T., Benson, C.H., & Edil, T.B. (2000) Foundry green sands as hydraulic barriers: laboratory study. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, (USA), **126** (12), 1174–1183.

⁵BRAHAM, A. (2002) *The Use of Blended Recycled Foundry Sand in Hot Mix Asphalt*, Interim Report, p. 10. Asphalt Research Group, University of Wisconsin-Madison, Madison, Wisconsin, USA.

No Brasil BINA *et al.* (2003) realizaram um estudo utilizando areia de fundição descartada em pavimentação asfáltica, incorporando-a na camada de lama asfáltica. A pavimentação asfáltica armada (tela de aço) é uma técnica relativamente nova e segundo o autor seria a melhor opção para a utilização de areia de fundição de descarte. Esta tecnologia consiste na colocação de uma camada composta de tela de aço e lama asfáltica (1 a 1,5 cm de espessura) entre duas camadas de CA, sendo a camada inferior com espessura de 5 a 12 cm e a superior, de 5 a 7 cm. Dentre as várias vantagens, têm-se o melhor desempenho e durabilidade, quanto à perda de capacidade de suporte das camadas inferiores, pois possibilita maior distribuição das tensões provocadas pelo carregamento.

2.11 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

É conhecido como avaliação estrutural de pavimentos o conjunto de procedimentos que determinam as respostas da estrutura quando sujeita às cargas do tráfego, traduzida na forma de tensão, deformações e deflexões em determinados pontos do pavimento, de forma que seja possível verificar sua capacidade de resistir aos mecanismos responsáveis pela degradação do pavimento. Assim, um retrato completo da condição estrutural de um pavimento deve ser composto pelos seguintes elementos:

Parâmetros que descrevam a deformabilidade elástica ou viscoelástica dos materiais das camadas, sob as condições de solitação impostas pelas cargas transientes dos veículos. São utilizadas para se calcular as tensões e deformações induzidas pelas cargas do tráfego na estrutura do pavimento;

Parâmetros que descrevam a resistência dos materiais ao acúmulo de deformações plásticas sob cargas repetidas, os quais são função da natureza do material, de sua condição (densidade, umidade) e do histórico de solitações;

Integridade das camadas asfálticas e cimentadas, expressa pelo grau de fissuramento.

A condição estrutural pode ser avaliada de duas formas complementares:

Avaliação Destrutiva - Consiste da abertura de furos de sondagem para identificação da natureza e das espessuras das camadas do pavimento, bem como da abertura de poços de sondagem para coleta de amostras dos materiais que serão ensaiados em laboratório. Alguns ensaios “in situ” nas camadas de solos e de materiais granulares podem ser realizados, como CBR “in situ” e determinações de umidade e densidade. Os ensaios de laboratório abrangem

desde aqueles convencionais para caracterização geotécnica até ensaios especiais, como os que permitem a medida do módulo de deformação resiliente;

Avaliação Não Destrutiva - Consiste da realização de provas-de-carga para medida de parâmetros de resposta da estrutura às cargas de roda em movimento. Os deslocamentos verticais de superfície (“deflexões”) são os parâmetros de resposta cuja medida é mais simples e confiável, em comparação com tensões ou deformações, razão pela qual a quase totalidade dos equipamentos utilizados para ensaios não destrutivos são deflectômetros. Os ensaios não destrutivos possibilitam a avaliação das condições do pavimento sem danificá-los, para isto são usados equipamentos para a medição das bacias deflectométricas.

A deformação reversível do pavimento pode ser avaliada por diferentes tipos de equipamentos que segundo SMITH e LYTTON (1985), são classificados em:

Equipamento quase estático – Viga Benkelman, Curviometro, Defletógrafo Lacroix e Califórnia Travelling Deflectometer;

Equipamento dinâmico em regime permanente – Dynaflect, Road Ratler e Vibrador WES – 16 KP do Corpo de Engenheiros do Exército Americano;

Equipamento de carregamento por impacto – FWD, que se apresenta em vários modelos. Este vem sendo usado com frequência mais recentemente, principalmente nas regiões sul e sudeste do país (SUZUKI *et al.*, 1991; PREUSSLER *et al.*, 1991)

Não existe uma correlação única entre as deflexões medidas por estes diferentes equipamentos. Embora os equipamentos mais modernos tenham maior precisão e rapidez, considera-se que a viga Benkelman, pela sua simplicidade, baixo custo e larga divulgação no país ainda possa e deva ser usada, especialmente na versão automatizada (MEDINA *et al.*, 1994).

Uma condição estrutural inadequada ou uma capacidade estrutural insuficiente, para o tráfego atuante, acelerará a geração de defeitos de superfície (trincas de fadiga nas camadas asfálticas e cimentadas), bem como a queda do nível de serventia com o tempo (em decorrência da geração de afundamentos plásticos em trilha de roda e ondulações). Ao mesmo tempo, a existência de trincas no revestimento asfáltico permite a entrada de águas pluviais no pavimento, gerando bombeamento de finos e enfraquecimento do solo de subleito, o que degrada a condição estrutural do pavimento, acelerando, por sua vez, a queda do nível de serventia e a própria deterioração superficial. A condição estrutural de um pavimento indica, portanto, a velocidade com que a deterioração do pavimento está se processando, ou seja, a velocidade com que os defeitos estão surgindo e/ou aumentando de severidade.

A medição de deflexões, em particular de bacias deflectométricas, é de vital importância na Mecânica dos Pavimentos, onde a deformabilidade elástica é associada ao trincamento dos revestimentos. Caso o dimensionamento da estrutura tenha sido feito mecanisticamente (o que não foi o caso da pista experimental analisada), o controle de construção camada a camada pode indicar eventuais deficiências ou não concordâncias entre o comportamento previsto dos materiais e o comportamento obtido no campo, permitindo eventuais ajustes. Por ser um ensaio não destrutivo e rápido, o controle de campo pode ser muito mais detalhado, com liberação mais rápida das camadas e com possibilidade de correções de defeitos localizados. Além disso, as bacias deflectométricas medidas em campo permitem, através da retroanálise, que sejam estimados os módulos de resiliência dos materiais das diferentes camadas do pavimento e comparados com os valores de projeto.

2.12 RETROANÁLISE

Segundo VILLELA *et. al.* (2001) *apud.* NÓBREGA (2003) a retroanálise é um processo que permite a obtenção dos módulos de resiliência das camadas do pavimento e subleito *in situ*. Esta determinação é feita a partir das bacias deflectométricas que o pavimento apresenta quando submetido ao carregamento externo, que é simulado através de ensaios não-destrutivos, podendo utilizar equipamentos como a viga Benkelman, universalmente conhecida.

Os valores dos módulos de resiliência *in situ* das camadas dos pavimentos e do subleito são de vital importância para a determinação do número de solicitações admissíveis dos pavimentos existentes e das espessuras dos recapeamentos, pois a rigidez das camadas (módulo de resiliência ou curva tensão-deformação de materiais com propriedades dependentes do estado de tensão) governa o desenvolvimento de tensões associadas às cargas do tráfego.

Métodos computacionais têm sido utilizados para a determinação dos módulos das camadas mediante retroanálise de avaliações estruturais não-destrutivas. As deflexões superficiais medidas a diferentes distâncias do ponto de aplicação da carga são comparadas com deflexões calculadas por programas computacionais tais como o FEPAVE2, o REPAV e ELSYM 5 dentre outros, a partir das espessuras das camadas, que podem ser simplesmente adotadas a partir da experiência do responsável pela análise, a exemplo, do que ocorre com o coeficiente de Poisson, ou estimados a partir das deflexões medidas.

Genericamente os métodos de retroanálise são distinguidos em dois grupos principais: iterativos e simplificados.

O método iterativo é aquele em que das características elásticas e geométricas das camadas do pavimento são determinadas através da comparação entre a bacia deflectométrica obtida em campo e a teórica (calculada) para uma determinada estrutura, até que as deflexões medidas sejam as mesmas que as obtidas para bacia teórica (calculada), ou apresente um resíduo admissível.

Segundo ALBERNAZ *et al.* (1995) *apud.* NÓBREGA (2003) com os dados do pavimento referentes às deflexões medidas no campo, espessuras das camadas e respectivos coeficientes de Poisson, faz-se o cálculo através da Teoria da Elasticidade para as diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento, de forma a se obter, por meio de tentativas os valores dos módulos ditos retroanalizados. Entretanto, por utilizar processos iterativos na convergência de sua solução, demandam tempo de processamento.

Os módulos retroanalizados são os módulos elásticos em resposta ao carregamento do sistema estruturado, pois a deformação total da estrutura é a resultante das deformações de cada material constituinte, relacionada às condições ambientais.

O método simplificado é aquele onde a obtenção das características elásticas da estrutura do pavimento são feitas através da utilização de equações, tabelas e gráficos, entre outros procedimentos simplificados oriundos da teoria da elasticidade aplicada aos meios homogêneos, isotrópicos e linearmente elásticos.

De maneira geral, consistem na conversão do pavimento real em estruturas equivalentes mais simples, de duas ou três camadas incluindo a camada de subleito. Como tratam o problema de forma simplificada, são mais rápidos do que os métodos iterativos, porém perdem em acurácia.

Dentre os métodos simplificados, os mais conhecidos a nível nacional são os seguintes:

1. Métodos da AASHTO (1993);
2. Método de FABRÍCIO *et al.* (1988), que se baseia no modelo de Hogg;
3. Método de NOURELDIN (1993) e ALBERNAZ (1997).

O método de FABRÍCIO *et al.* (1988) que se baseia no modelo de Hogg apresenta um processo bastante simples de retroanálise de medidas de deflexão em pavimentos flexíveis e semi-rígidos existentes através da determinação do Raio de curvatura (R) e do Produto Rd_0 ,

sendo R o raio de curvatura e d_0 a deflexão inicial em centésimo de milímetro, com a finalidade de se proceder a análise estrutural do pavimento.

O Raio de Curvatura R é obtido facilmente por duas medidas de deflexão de acordo com o Método DNER-ME 024/94, permitindo, por meio de uma formulação estabelecida ou de um ábaco, o cálculo de diversos parâmetros de análise estrutural do pavimento equivalente real, inclusive do SNC – “Número Estrutural Corrigido”, em cada estação de medida. O processo dispensa a realização trabalhosa de sondagens, ensaio “in situ”, coleta de amostras e ensaios de laboratório para esta finalidade.

Aproveitando as pesquisas francesas e os estudos divulgados na 13ª Reunião Anual de Pavimentação, empregando o modelo de Hogg utilizado na resolução de problemas de retroanálise de bacias de deflexão, foi desenvolvido um método simplificado que apresenta a vantagem de exigir apenas duas medidas de deflexão no campo realizadas de acordo com o Método DNER-ME 024/94, para o mesmo objetivo, isto é:

d_0 – deflexão medida entre as rodas duplas do caminhão de prova na vertical do eixo traseiro.

d_{25} – deflexão medida a 25 cm de d_0 no sentido do deslocamento do caminhão de prova.

Segundo FABRÌCIO (1994) as principais razões para a adoção do conceito de análise de pavimentos equivalentes com as mesmas características de deformabilidade do pavimento real (Bacia de Deformação) são as seguintes:

- Engenheiros admitem que a avaliação estrutural de um pavimento com 3 camadas (incluindo o subleito) através da retroanálise das bacias de deformação é imprecisa, pois as próprias teorias clássicas de camadas elásticas empregadas pelos programas computacionais para este fim foram elaboradas seguindo pressupostos teóricos ideais que necessariamente não correspondem à realidade de campo;
- A avaliação estrutural através da retroanálise das bacias de deformação de camadas pouco espessas (como geralmente é o caso do revestimento betuminoso) é bastante imprecisa, pois qualquer pequeno erro nas medidas de deflexão e/ou na determinação das espessuras acarreta um grande erro na avaliação dos módulos;
- As espessuras das camadas do pavimento real são geralmente avaliadas por intermédio de informações históricas ou através de sondagens. Mesmo neste último caso, as informações são imprecisas. Não é cabível sondar-se um pavimento para obtenção das medidas exatas de

espessuras em cada local de medição de bacias, pois o método não destrutivo utilizado passaria a ser destrutivo.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tendo em vista os objetivos propostos para este trabalho, os procedimentos experimentais foram organizados em etapas que visaram caracterizar o emprego do resíduo areia de fundição na composição de massa asfáltica. Para isso, tornou-se necessário estabelecer uma dosagem para a mistura asfáltica, incorporando os resíduos de areias de fundição de modo que atendessem às especificações de dimensionamento dos pavimentos asfálticos e apresentassem um comportamento estrutural e ambiental viável. Desta forma, foram realizados os ensaios a saber:

Ambientais – Ensaios de Lixiviação de resíduos, Solubilização de resíduos e percolado a partir de extrato obtido da massa bruta dos resíduos das areias de fundição (ADF), bem como a mistura asfáltica com o rejeito incorporado para as amostras procedentes da pista experimental em Extrema - MG

Mecânicos – A avaliação das misturas asfálticas com a incorporação dos resíduos de “areia verde”, para as amostras de corpos-de-prova moldados em laboratório (IPR) e na pista experimental (Extrema-MG), foi feita por meio de métodos de ensaio de laboratório como módulo de resiliência (MR), resistência à tração (RT) por compressão diametral, vida de fadiga e por avaliação estrutural (desempenho) da pista experimental por campanha de levantamento deflectométrico e retroanálise para obtenção dos módulos das camadas *in situ* do pavimento executado. O estudo também procura traçar um paralelo entre o comportamento do trecho experimental e os resultados dos ensaios em laboratório com o objetivo de verificar o desempenho dos revestimentos asfálticos com ADF incorporados.

3.1 ENSAIOS AMBIENTAIS

Com o objetivo de avaliar a incorporação de areia de fundição na massa asfáltica, foi necessária a elaboração de um programa de acompanhamento e monitoramento do risco potencial ao meio ambiente indicando os fatores a serem considerados, para os materiais aplicados na pista experimental por meio dos ensaios de lixiviação, solubilização e água percolada.

3.1.1 AMOSTRAS ESTUDADAS

O Grupo Mondragón Corporación Cooperativa foi criado em 1956 e agrega mais de 160 empresas, com maior concentração em território espanhol, sendo conhecido como o maior grupo cooperativo do mundo. A MCC conta com 4 segmentos de trabalho: Financeiro, Industrial, de Distribuição e de Pesquisa e Formação.

Inserido no grupo Industrial, está o segmento automotivo que é formado por 10 grandes empresas, sendo que a maior delas é a Fagor Ederlan S. Coop, fundada em 1963 e localizada na província de Guipúzcoa, Norte da Espanha. Líder na Europa na fabricação de módulos para a indústria de autopeças, graças à suas constantes inovações tecnológicas e à sua estabilidade.

Nos anos de 1999 à 2000, a Fagor já era fornecedora exclusiva das "mangas de eixo" do Corsa na Espanha e para dar continuidade deste processo no Brasil, passou a procurar terrenos no Rio Grande do Sul, Jundiá e Itaúna, para que uma nova fundição de ferro fosse construída. Em função de uma recomendação da GM, o grupo fez uma visita à Fundição Brasileira e passou a estudar a possibilidade de se unir a esta, ao invés de construir uma empresa nova.

As duas empresas se uniram em fevereiro de 2001 e com essa união formou-se uma nova empresa denominada FAGOR FUNDIÇÃO BRASILEIRA S.A., com o objetivo de atender à estratégia de globalização no setor automotivo. Inicialmente, a empresa fornecia para a GM, com exclusividade no Brasil, a "manga de eixo" e "tambor de freio" do Corsa. E atualmente, esta "manga de eixo" não somente continua sendo fornecida para a linha Corsa como também já foi estendida para mais dois veículos da GM, o Meriva e o Montana. Feita a união da Fagor Ederlan S. Coop com a Fundição Brasileira Ltda., definiu-se a instalação de outra empresa do grupo na mesma planta de trabalho. Surgia então a FAGOR EDERLAN DO BRASIL LTDA., uma planta de usinagem voltada, principalmente, para a usinagem das "mangas de eixo" da GM.

Para a FAGOR a areia usada na pesquisa foi a denominada de "Caixa de areia", tendo sua maior participação em termos de volume de descarte, e por ser esta a de menor potencial de discussão em termos de concentração de metais, carbono ou resina, por tratar-se de material mais homogêneo;

A história da TUPY segue de perto os passos da industrialização do Brasil e da cidade de Joinville, colonizada a partir da segunda metade do século XIX por imigrantes europeus, a maioria de origem germânica. Albano Schmidt, Hermann Metz e Arno Schwarz, que fundaram a TUPY em 9 de março de 1938, descendiam desses imigrantes. Albano era um

homem de negócios e os sócios, pessoas que já se dedicavam a fabricar artefatos de ferro, utilizando conhecimentos rudimentares de fundição. Dez anos antes de a TUPY existir, Albano havia desafiado seus companheiros a “descobrir a fórmula do ferro fundido maleável”, utilizado na fabricação de conexões, então conhecidas no país apenas pela importação.

Sem contar com recursos de laboratório ou de manuais que dessem algum indicativo de como chegar à fórmula dessa liga (originalmente descoberta em 1630, na Inglaterra), tudo era feito na base da tentativa erro, até que em 1937 obteve-se a composição certa. No ano seguinte, nas mesmas instalações de uma antiga oficina existente no centro da cidade, as primeiras conexões com a marca TUPY começaram a ser fabricadas. Três anos depois, já recebiam o atestado de similaridade, o que significava serem semelhantes às estrangeiras.

Enquanto as conexões ganhavam mercado em todo o país e se tornavam líderes em vendas, Albano Schmidt planejava a construção do que viria a ser o parque industrial do Boa Vista, para onde a TUPY começou a se transferir em 1954. A mudança acabou dando início ao próprio bairro, hoje um dos mais populosos de Joinville, e a primeira unidade de fundição, com capacidade para três mil toneladas ao ano, logo transformou a TUPY na maior empresa do Estado de Santa Catarina.

Albano Schmidt morreu em 1958 e a Presidência da empresa foi ocupada pelo filho Hans Dieter Schmidt, então com 26 anos, mas já visto pelo pai como sucessor natural. Homem de idéias arrojadas e visão empreendedora, Dieter criou em 1959 a Escola Técnica Tupy, com o objetivo de qualificar mão-de-obra para fazer frente aos desafios que, acreditava ele, a indústria automobilística traria. O primeiro contrato para produção de peças automotivas havia sido firmado em 1958: tambores de freio para a Volkswagen, recém-chegada ao Brasil.

Em 1963 a segunda unidade de fundição foi instalada, exclusivamente para produzir peças automotivas, e em 1972 foi criado o primeiro Centro de Pesquisa, em parceria com a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Em 1975 uma terceira frente materializava a vocação da empresa para atuar no setor automotivo. Dedicada à produção de blocos e cabeçotes de motor, esta unidade hoje responde por cerca de 50% dos negócios da empresa.

A morte prematura de Dieter Schmidt, vítima de acidente aéreo em 1981, quando ocupava o cargo de Secretário de Estado da Indústria, e a diversificação excessiva do grupo empresarial, que além de negócios no setor metal-mecânico passou a atuar também nos setores químico e plástico, acabou levando a TUPY a quase fechar suas portas.

Iniciando em 1991 uma gestão profissionalizada, em 1995 a TUPY teve seu controle acionário entregue a um pool de fundos de pensão e bancos, solução de capital encontrada para fazer frente ao excessivo endividamento.

Já então focada em seu core-business, fundição, a empresa concentrou todos os seus esforços para ampliar as exportações e consolidar-se no mercado externo como competidora global no segmento automotivo. Em 1998 adquiriu uma unidade de fundição em Mauá, no Estado de São Paulo, ao mesmo tempo em que modernizava e expandia o parque fabril de Joinville. Em pouco tempo dobrou a capacidade produtiva e hoje se posiciona entre as cinco maiores fundições do mundo.

Consciente dos problemas ambientais causados pelo descarte de areia de fundição, estas empresas (Tupy e Fagor) juntamente com a Prefeitura Municipal de Extrema-MG decidiram estudar alternativas para seu reuso, dentro do contexto da adoção de práticas de Produção mais Limpa. Na possibilidade do reaproveitamento do resíduo industrial para atender sua grande demanda na pavimentação de ruas e acessos na cidade de Extrema-MG, utilizou-se das práticas adotadas pela prefeitura, de certa forma rudimentar, para construção do trecho experimental.

Para a TUPY a areia foi definida também em função do volume de descarte e homogeneidade, como sendo da fundição de blocos, denominada do tipo B2.

A coleta da matéria-prima foi realizada conforme NBR 10.007:2004. Posteriormente, as amostras da “areia verde” de fundição oriundas das empresas de fundição (FAGOR/TUPY) e os corpos-de-prova com resíduo “areia verde” de fundição incorporadas na mistura asfáltica provenientes da pista experimental foram enviadas para o Laboratório de análise química localizado em Bragança Paulista-SP. A metodologia utilizada foi a mesma descrita na norma ABNT/NBR 10.004:2004, referente a resíduos sólidos – classificação tendo o objetivo de classificar os resíduos sólidos quanto à sua periculosidade, considerando seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.

3.1.2 ENSAIO DE LIXIVIAÇÃO (NBR 10.005)

O ensaio de lixiviação foi executado com o objetivo de separar substâncias contaminantes (fenóis, metais pesados e outros) ou não, contidas nas areias descartadas de fundição por meio de lavagem ou percolação e desta forma, classificar esse resíduo, conforme

seu potencial contaminantes (ABNT – NBR 10004/2004). Este ensaio foi realizado de acordo com os procedimentos descritos na NBR 10005/2004, sendo os valores máximos permitidos (VMP), baseados fundamentalmente em listagens de resíduos e de substâncias da NBR 10004/2004 (ANEXO F).

Uma amostra seca do resíduo é peneirada em malha de 9,5 mm, sendo 100g do material passante transferidos para um frasco de lixiviação, contendo 2.000 ML de solução de extração com agitação de (30 ± 2) rpm durante (18 ± 2) h à temperatura de 25°C. O filtrado obtido é denominado de extrato lixiviado. No extrato solubilizados são analisados diversos parâmetros selecionados por procedimentos específicos conforme Tabela 7.

3.1.3 ENSAIO DE SOLUBILIZAÇÃO (NBR 10.006)

O ensaio de solubilização foi realizado com o intuito de diferenciar os resíduos da classe II (não-inerte), que é o caso da ADF utilizada neste estudo, dos resíduos da classe III (inerte), sendo aplicado somente para resíduo no estado físico sólido. Este ensaio é realizado de acordo com os procedimentos descritos na NBR 10006/2004, sendo os valores máximos permitidos (VMPs), baseando-se fundamentalmente em listagens de resíduos e de substâncias da NBR 10004/2004 (ANEXO G).

Uma amostra do resíduo seco é peneirada em malha de 9,5 mm e 250g do material passante são transferidos para um frasco contendo 2500 ML de água deionizada. O frasco é coberto e deixado em repouso por sete dias, em temperatura até 25°C. O filtrado obtido é denominado de extrato solubilizado. No extrato solubilizado são analisados diversos parâmetros selecionados por procedimentos específicos conforme TAB. 3.1.

TAB. 3.1 Técnicas analíticas utilizadas nos ensaios de lixiviação e solubilização

Parâmetro	Lixiviação	Solubilização
Alumínio		SM 3120B
Arsênio	SM 3120B	SM 3120B
Bário	SM 3120B	SM 3120B
Cádmio	SM 3120B	SM 3120B
Chumbo	SM 3120B	SM 3120B
Cianeto		SM 4500 CN - F
Cloreto		SM 4500 Cl -D
Cobre		SM 3111B
Cromo Total	SM 3120B	SM 3120B
Fenóis Totais		SM 5530C
Ferro		SM 3111B
Fluoreto	SM 4500F-C	SM 4500F-C
Manganês		SM 3111B
Mercúrio	EPA 7470 A	EPA 7470 A
Nitrato		SM 4500 F
Prata	SM 3120B	SM 3120B
Selênio	SM 3120B	SM 3120B
Sódio		SM 3111B
Sulfato		SM 4500E
Zinco		SM 3111B

3.1.4 ENSAIO DO LIXIVIADO E LIXIVIADO NEUTRO (CETESB N° 152/2007)

a) Procedimento do Lixiviado

Segundo a CETESB (Decisão de Diretoria N°152/2007) para que a ADF possa ser utilizado em CA devem ser realizadas as análises químicas do extrato lixiviado, obtido em pelo menos três amostras de resíduo, para os parâmetros de Arsênio, Bário, Cádmio, Cromo Total, Chumbo, Mercúrio e Selênio, utilizando a metodologia apresentada na norma NBR 10.005/2004.

A ADF deve apresentar concentrações de parâmetros no extrato lixiviado, obtido conforme a norma NBR 10.005/2004, menores ou iguais às concentrações estabelecidas pela CETESB.

b) Procedimento do Lixiviado Neutro

Deve ser utilizado o especificado no item 5.4.1 do "Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos", da norma da ABNT, NBR 10.005/2004. Omitir a etapa

descrita em 5.4.1.6 de determinação da solução extratora da NBR 10.005/2004 e utilizar, em 5.4.1.7, água deionizada como solução de extração.

Efetuar medição de pH conforme especificado no item 5.4.1.10 da NBR 10.005/2004.

Apresentar os resultados conforme item 6 da NBR 10.005/2004, incluindo observação de que foi utilizada metodologia da NBR 10.005/2004, modificada para obtenção de lixiviado neutro. Nessa modificação, a solução ácida de extração foi água deionizada.

3.2 ENSAIOS MECÂNICOS

Neste item são apresentadas as características dos materiais utilizados nesta pesquisa, bem como os ensaios realizados. Descrevem-se algumas propriedades do agregado e ligante usados na pesquisa, como também o resumo dos procedimentos adotados para mistura e compactação das amostras, ensaios nos corpos-de-prova moldados na pista (Extrema-MG) e no laboratório (IPR), de módulo de resiliência (MR), fadiga e resistência à tração por compressão diametral (RT).

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) usado no presente estudo foi proveniente da refinaria de Paulínia (REPLAN), classificado por penetração como do tipo 50/70. A caracterização do ligante foi realizada no laboratório de materiais asfálticos do Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) e os resultados são apresentados na TAB. 3.2.

TAB. 3.2 Propriedades do ligante – CAP 50/70 usado neste estudo

Características	Limites CAP 50-70 ANP Resolução n. 19/2005	Ligante estudado
Penetração (0,1 mm)	50 - 70	54
Ponto de Amolecimento, min. (°C)	46	48
Viscosidade Saybolt-Furol a 135°C, min.,(s)	141	170
Viscosidade Saybolt-Furol a 150°C, min.,(s)	50	84
Viscosidade Saybolt-Furol a 177°C, min.,(s)	30 - 150	-
Índice de susceptibilidade térmica	(-1,5) a (+0,7)	-1,50
Ponto de Fulgor, min. (°C)	235	-
Solubilidade em tricloroetileno, min., (% massa)	99,5	-
Ductilidade a 25°C, min. (cm)	60	>100

após RTFOT a 163° C, 85 min

Varição em massa, máx (%)	0,50	0,54
Ductilidade a 25°C, min. (cm)	20	>100
Aumento do Pto de Amolecimento, máx (°C)	8	-
Penetração Retida, min. (%)	55	-

O ensaio de determinação da viscosidade Saybolt-Furol do ligante seguiu os procedimentos constantes do método brasileiro ABNT – MB 517. As temperaturas ideais de mistura do CAP e agregado e a de compactação para a determinação do teor de projeto foram determinadas através da curva Viscosidade (VSF) x Temperatura (°C), segundo os intervalos preconizados na especificação DNIT ES – 031/2006.

A temperatura dos agregados foi adotada como sendo a temperatura do ligante acrescida de 15 °C, conforme orientação de PINTO (1997). Foram medidas as viscosidades Saybolt-Furol nas temperaturas de 135°C, 145°C e 155°C. Na TAB. 3.3 e na FIG. 3.1 são apresentados os resultados do ensaio Saybolt –Furol.

TAB. 3.3 Resultados do ensaio Saybolt-Furol para o CAP, usado na pesquisa

Temperatura (°C)	135° C	145° C	155° C
CAP 50/70 (VSF)	170	101	67

Na TAB. 3.4 estão apresentadas as temperaturas utilizadas na moldagem dos corpos-de-prova para determinação do teor de projeto.

TAB. 3.4 Temperaturas utilizadas na moldagem dos corpos-de-prova

Temperatura do ligante (°C)	150
Temperatura dos agregados (°C)	165
Temperatura de compactação (°C)	139

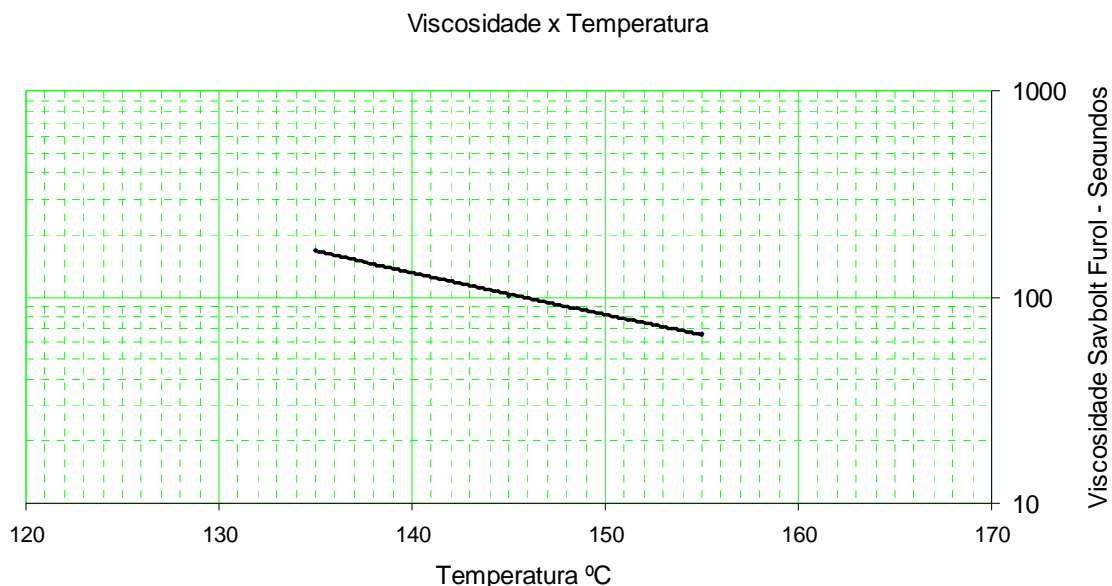


FIG. 3.1 Características viscosométricas do CAP 50/70

A emulsão asfáltica usada na pesquisa foi fornecida pela prefeitura municipal de Extrema- MG caracterizada no laboratório do IPR classificada através do ensaio de carga de partícula como emulsão aniônica, não recomendadas à pratica de pré-misturados a frio.

Das empresas geradoras do resíduo de areia de fundição foram escolhidas aquelas com maior potencial de descarte. As amostras do RAF/ADF, aquelas denominadas de areias de caixa de moldagem (FIG. 3.2) ou do tipo misturado (descarte de areia de caixa de moldagem - areia verde, com areia dos moldes internos – areia de macharia, e também com areia proveniente da etapa de acabamento superficial – jato de areia) foram coletadas em pontos determinados conforme as exigências da norma NBR 10.007 - Amostragem de Resíduo Sólido (ABNT, 1987).



FIG. 3.2 Aspecto físico da “areia verde”

Para os demais agregados componentes das misturas asfálticas, como por exemplo, a Brita n.º1, o Pedrisco e o Pó de pedra + Pedrisco (FIG. 3.3), foram adquiridas quantidades conforme exigências da norma DNER PRO 120/97, a DNER PRO 199/96 e a NBR 7216/1987 através da empresa JOFEGE PAVIMENTAÇÃO, sendo a Brita n.º 1 procedente da pedreira Basalto V, e o Pedrisco e Pó de pedra da pedreira Basalto II, conforme apresentado na figura 10, de natureza mineralógica basáltica. As características destes materiais estão indicadas na TAB. 3.5.



FIG. 3.3 Amostras dos materiais granulares utilizados neste estudos

TAB. 3.5 Propriedades físicas dos agregados utilizados no estudo

Ensaio	Método	Agregados					
		Brita n.º 1	Pedrisco	Pó+Pedrisco	ADF (Tupy)	ADF (Fagor)	Areia
Abrasão Los Angeles	DNER – ME 035/98	13%					
Índice de Forma	DNER – ME 086/94	0,87					
Densidade Real do grão	DNER ME 081/98	3,05	3,10	3,05			
Densidade aparente do grão		3,00	2,96	2,94			
Densidade Real do grão	DNER ME 084/95				2,53	2,49	2,62
Massa específica, g/cm ³	DNER ME 085/94	1,725	1,552	1,746			
Equivalente de areia	DNER ME 054/97				23%	30%	84%
Adesividade	DNER ME 078/94	Satisfatório					

A amostra de agregados graúdos previamente envolvidos com película de asfalto, foram submetidos à imersão a temperatura de 40°C, por um período de 72 horas. Da observação do comportamento, concluiu-se que não houve nenhum descolamento parcial ou total da película de asfalto (adesividade satisfatória), conforme apresentado na FIG. 3.4.



FIG. 3.4 Adesividade do agregado

Na TAB. 3.6 e FIG. 3.5 são mostrados os resultados da análise granulométrica dos agregados usados nesta pesquisa.

TAB. 3.6 Análise granulométrica dos agregados (% passante)

Peneiras	Diâmetros	Brita n.º 1	Pedrisco	Pó + Pedrisco	ADF Tupy	ADF Fagor	Areia
3 pol.	76,2	100	100	100	100	100	100
2 pol.	50,8	100	100	100	100	100	100
1. ½ pol.	38,1	100	100	100	100	100	100
1 pol.	25,4	100	100	100	100	100	100
¾ pol.	19,1	99	100	100	100	100	100
½ pol.	12,7	61	100	100	100	100	100
¾ pol.	9,5	18	100	100	100	100	100
Nº. 4	4,8	1	29	98	100	100	100
Nº. 10	2	1	2	65	100	100	98
Nº. 40	0,42	1	2	27	77	92	13
Nº. 80	0,18	1	2	19	17	13	5
Nº. 200	0,074	1	2	12	4	1	1

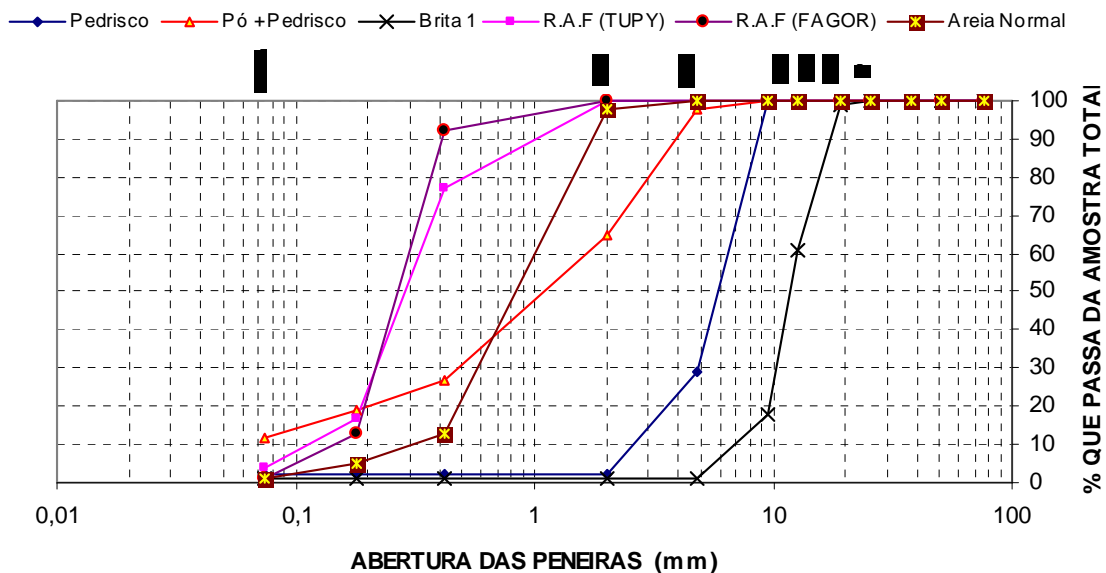


FIG. 3.5 Granulometria dos agregados utilizados no estudo

3.2.1 PROJETO DAS MISTURAS ASFÁLTICAS ESTUDADAS

Para a dosagem da mistura foi utilizado o método Marshall (DNER-ME 043/95), adotando-se a faixa granulométrica “C” da mistura de agregados

A elaboração dos projetos de dosagens seguiu os procedimentos descritos em PINTO (1997). Foram moldados 9 (nove) corpos - de - prova, sendo 3 com 4,5 % em peso de ligante (mistura 01), 3 com 5,5 % (mistura 02) e os demais com 6,5 % (mistura 03).

Com a finalidade de confeccionar corpos-de-prova mais homogêneos, os agregados foram particionados em oito frações, conforme ilustra a FIG. 3.6. Para a execução de cada corpo-de-prova, foi pesada individualmente cada uma das oito frações de agregado. Todas as frações são oriundas do peneiramento da Brita n.º 1, pedrisco, pó de pedra + pedrisco e o RAF/ADF (resíduo de areia de fundição).



FIG. 3.6 Frações dos agregados usados neste estudo

Foram incorporados dois diferentes teores de RAF/ADF às misturas asfálticas (Mistura TUPY com 10 % e Mistura FAGOR com 8%). Para a mistura asfáltica tipo concreto asfáltico com ADF da TUPY, as porcentagens de materiais para compor a FAIXA C do DNIT foram 25 % de Brita n.º 1; 30 % de pedrisco; 35 % de pó+pedrisco e 10 % de ADF/RAF. Na TAB. 3.7 e FIG. 3.6, são mostradas a composição granulométrica e a curva de distribuição granulométrica obtida enquadraram-se na Faixa “C” determinada.

TAB. 3.7 Composição granulométrica obtida com ADF da TUPY

Peneira	Abertura (mm)	% em Peso, passando Faixa “C” DNIT	TUPY c/ 10% ADF
3/4 pol.	19,1	100	100
1/2 pol.	12,7	80-100	90
3/8 pol.	9,5	70-90	80
Nº. 4	4,8	44-72	53
Nº. 10	2	22-50	34
Nº. 40	0,42	8-26	18
Nº. 80	0,18	4-16	9
Nº. 200	0,074	2-10	5

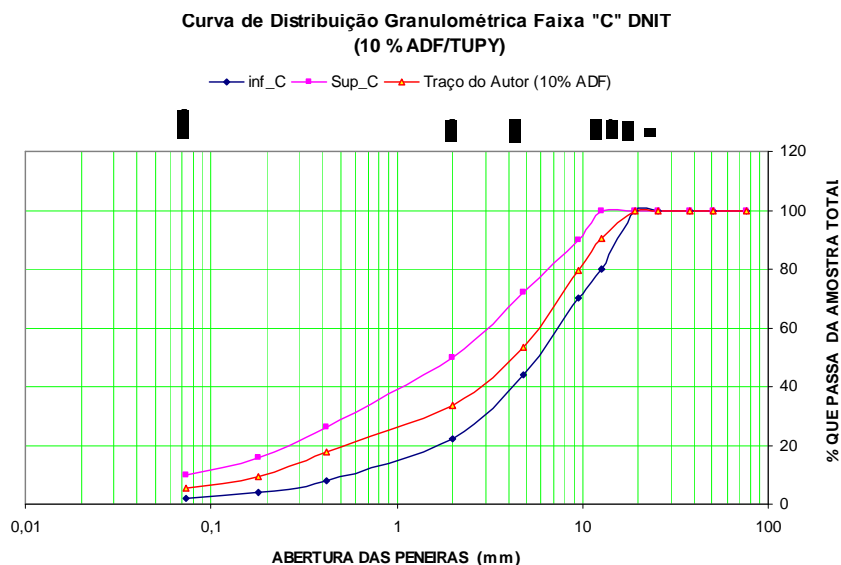


FIG. 3.6 Enquadramento da Mistura com ADF (Tupy) na faixa “C” DNIT

Para a mistura asfáltica em concreto asfáltico com ADF da FAGOR, as porcentagens de materiais para compor a FAIXA C do DNIT foram 25 % de Brita n.º 1; 30 % de pedrisco; 37 % de pó+pedrisco e 8 % de RAF/ADF. Na TAB. 3.8 e FIG. 3.7 são mostradas que a composição granulométrica e a curva de distribuição granulométrica obtida enquadraram-se na Faixa “C” determinada, respectivamente.

TAB. 3.8 Composição granulométrica obtida com ADF da FAGOR

Peneira	Abertura (mm)	% em Peso, passando Faixa “C” DNIT	TUPY c/ 10% ADF
3/4 pol.	19,1	100	100
1/2 pol.	12,7	80-100	90
3/8 pol.	9,5	70-90	80
Nº. 4	4,8	44-72	53
Nº. 10	2	22-50	33
Nº. 40	0,42	8-26	18
Nº. 80	0,18	4-16	9
Nº. 200	0,074	2-10	5

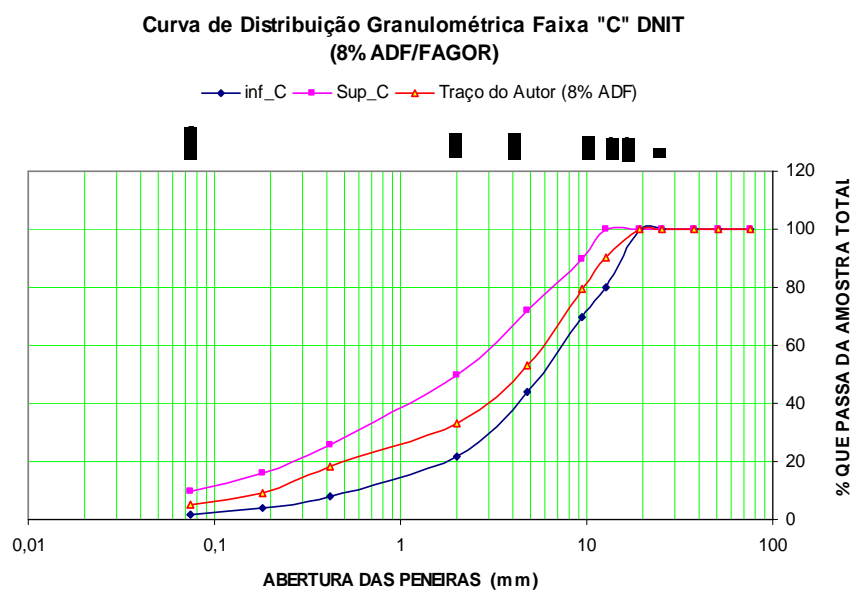


FIG. 3.7 Enquadramento da mistura com ADF (Fagor) na faixa “C” DNIT

Para a mistura convencional, foram utilizadas as seguintes porcentagens de materiais de 25 % de Brita n.º 1; 30 % de pedrisco; 37 % de pó+pedrisco e 8 % de areia de cava ou de rio (convencional). A TAB. 3.9 e FIG. 3.8 mostram que a composição granulométrica e a curva de distribuição granulométrica obtida enquadraram-se na Faixa “C” determinada, respectivamente.

TAB. 3.9 Composição granulométrica da mistura de referência obtida s/ ADF

Peneira	Abertura (mm)	% em Peso, passando Faixa “C” DNIT	TUPY c/ 10% ADF
3/4 pol.	19,1	100	100
1/2 pol.	12,7	80-100	90
3/8 pol.	9,5	70-90	80
Nº. 4	4,8	44-72	53
Nº. 10	2	22-50	33
Nº. 40	0,42	8-26	12
Nº. 80	0,18	4-16	8
Nº. 200	0,074	2-10	5

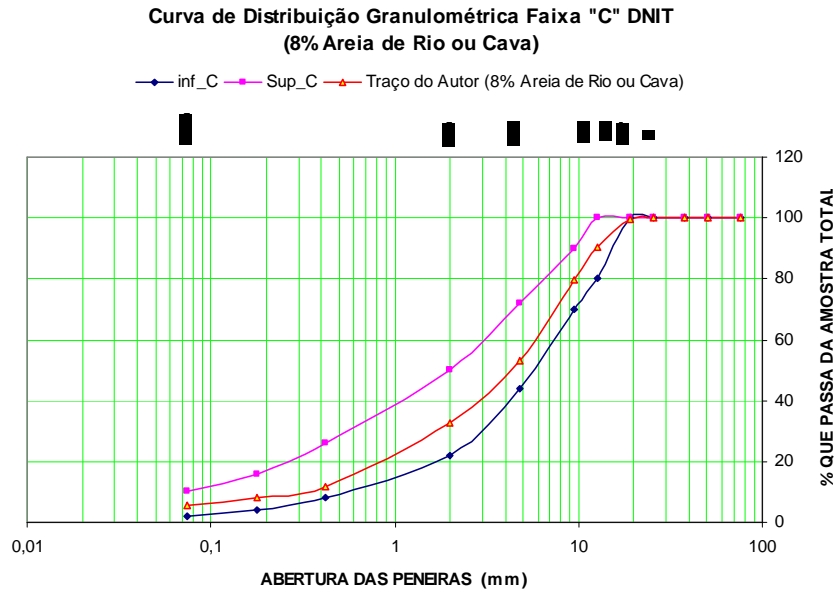


FIG. 3.8 Enquadramento da mistura s/ ADF na Faixa “C” DNIT

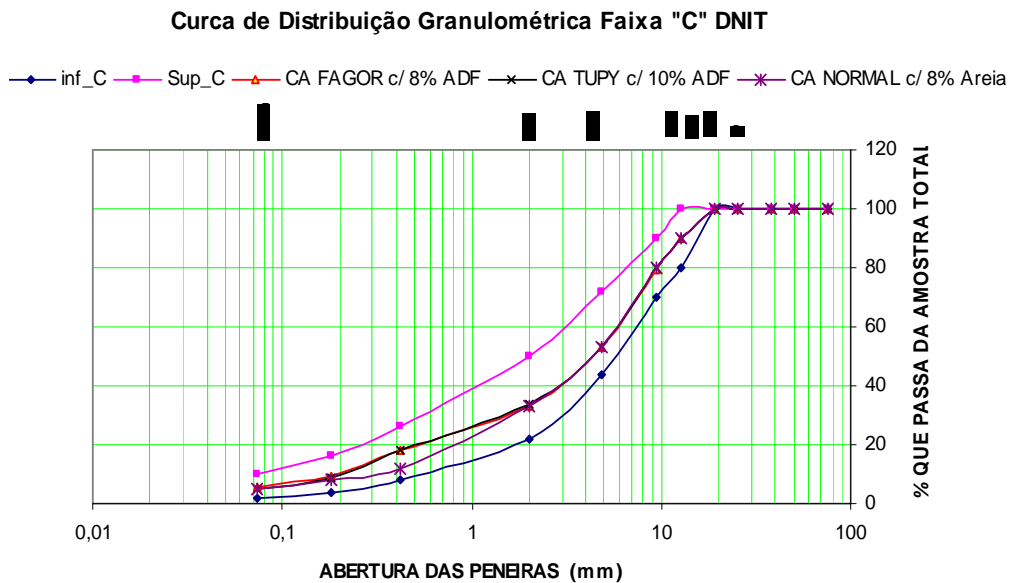


FIG. 3.9 Todas as misturas enquadradas na Faixa “C” DNIT

3.2.1.1 CARACTERÍSTICAS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS ESTUDADAS

Para cada mistura foi determinado o teor de projeto de asfalto de acordo com o método Marshall, para a condição de camada de rolamento, ou seja, relação betume-vazios entre 75% e 82% e percentagem de vazios entre 3% e 5%.

O teor de ligante de projeto encontrado para a mistura de concreto asfáltico com ADF da TUPY foi de 5.3 %, volume de vazios de 3.8 % e uma relação betume-vazios de 78%.

Para a mistura com ADF da FAGOR o teor de projeto encontrado também foi de 5.3 %, volume de vazios de 4.08 % e uma relação betume-vazios de 75%.

Nas FIG. 3.10 e FIG. 3.11 estão ilustradas as curvas (volume de vazios x % de ligante) e (relação betume vazios x % de ligante) obtidas para a dosagem com ADF da TUPY, com ADF da FAGOR e s/ ADF.

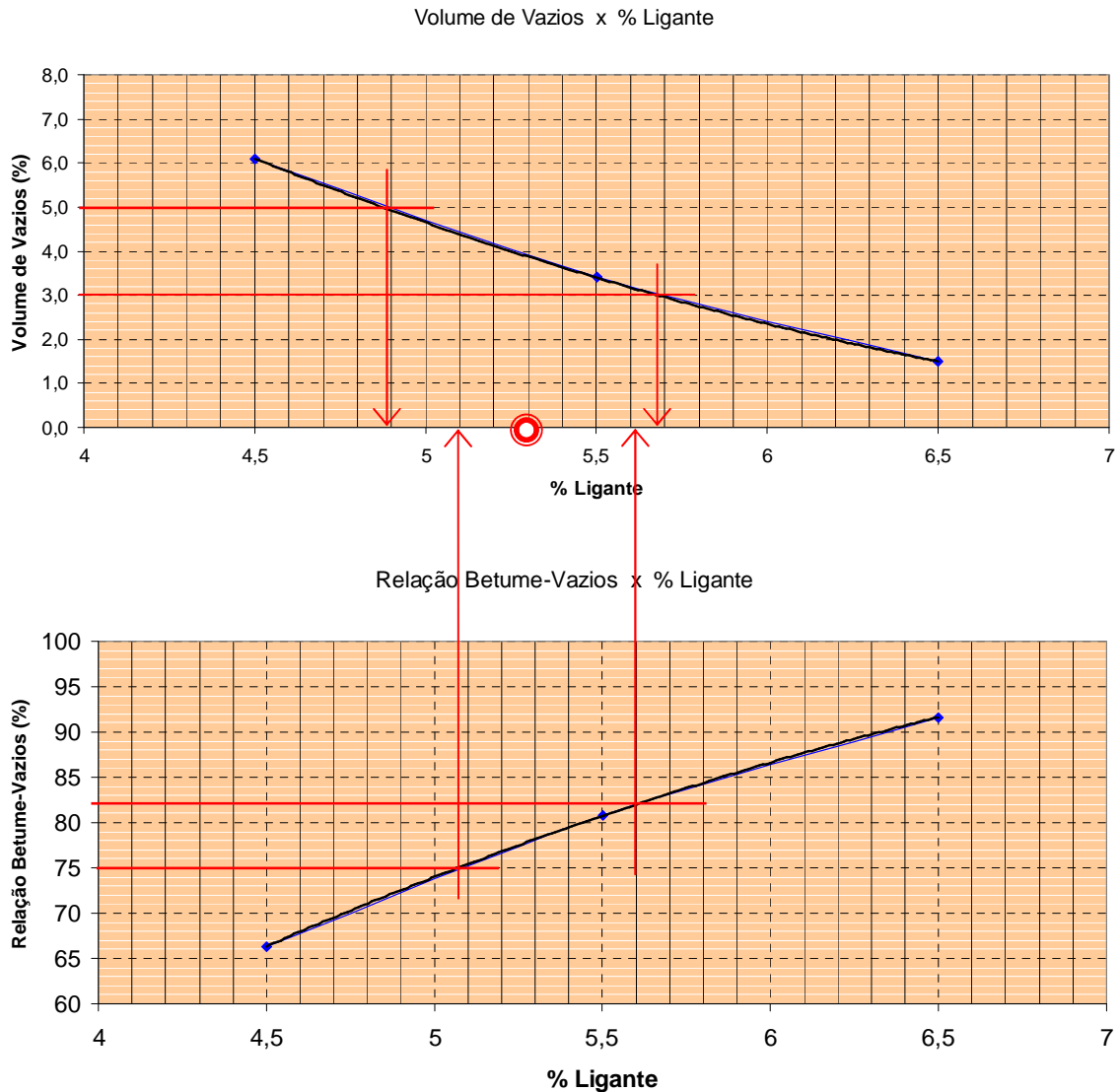


FIG. 3.10 Gráfico % de vazios x relação betume vazios p/ a mistura c/ ADF (Tupy)

Além das misturas mencionadas, também foi elaborada uma dosagem de referência denominada de s/ ADF cujo teor de ligante de projeto encontrado foi de 5.5 %, volume de vazios de 4 % e uma relação betume-vazios de 78%.

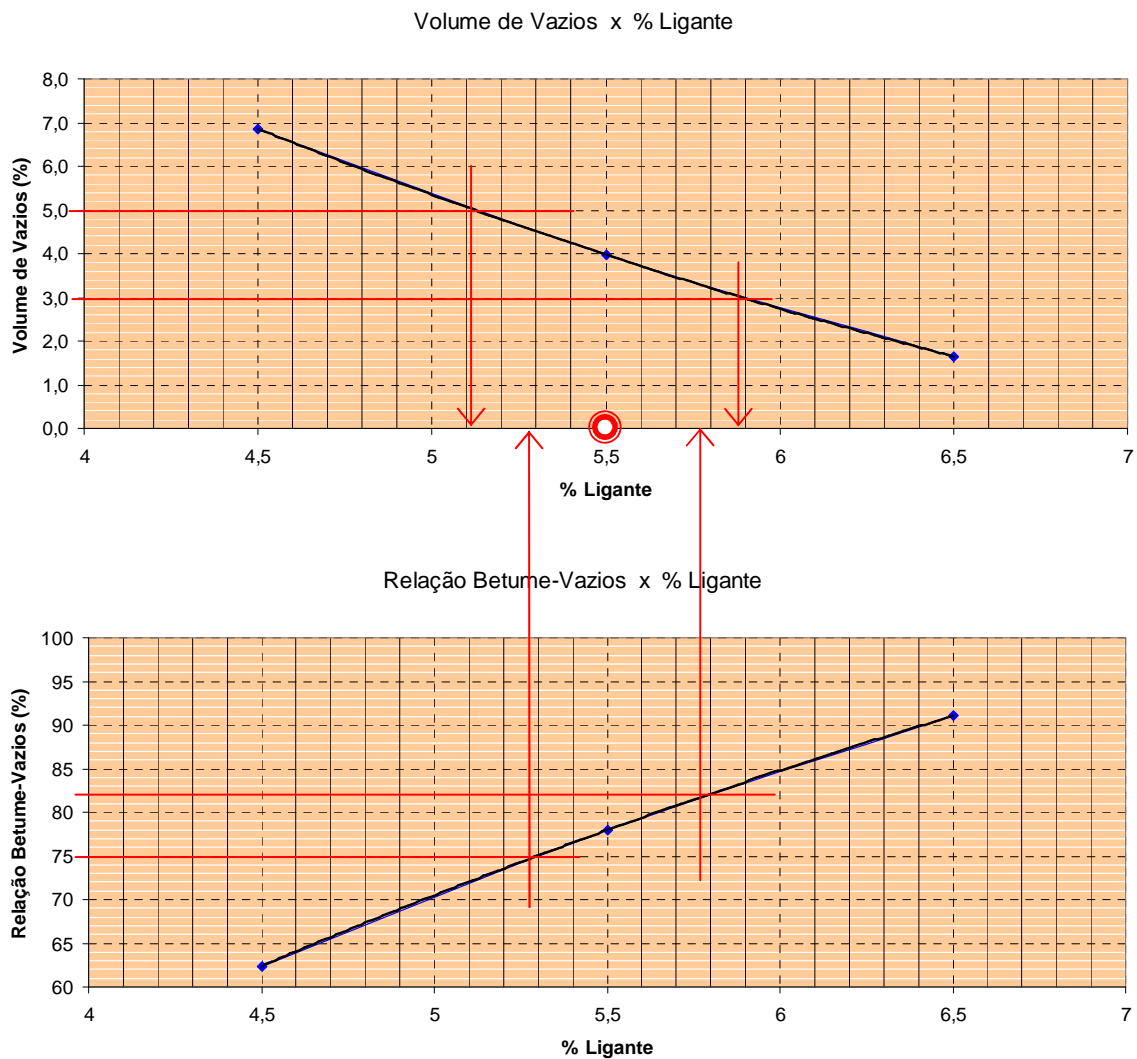


FIG. 3.11 Gráfico% de vazios x relação betume vazios da mistura s/ ADF

Para projeto de mistura asfáltica na TAB. 3.10 estão mostrados os valores limites para as características da mistura do tipo concreto asfáltico e os resultados obtidos para as misturas deste estudo comparadas com a norma DNIT 031/2006 – ES, e também dos ensaios mecânicos.

TAB. 3.10 Parâmetros físicos e mecânicos das misturas estudadas

Características	Capa de Rolamento(DNIT 031/2006 - ES)	c/ ADF Tupy 5,3% CAP	c/ ADF Fagor 5,3% CAP	s/ ADF 5,5% CAP
Porcentagem de vazios (%)	3 a 5	3,80	4,08	4,00
Relação Betume/Vazios (%)	75 a 82	78	77	78
Estabilidade mínima (Kgf)	500	916	952	979
Resistência a Tração por compressão diametral estática a 25° C, mínima (MPa)	0,65	0,92	0,95	0,99

3.2.2 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (RT) POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O ensaio de tração indireta ou compressão diametral é conhecido como “Ensaio Brasileiro”. Foi desenvolvido por LOBO CARNEIRO e BARCELLOS no Brasil e, independentemente, por AKAZAWA no Japão, em 1953, para a determinação da resistência à tração de corpos-de-prova cilíndricos de concreto-cimento, por solicitação estática (MEDINA, 1988).

Segundo o procedimento adotado de acordo com o método DNER ME 138/94 aplica-se, progressivamente, a carga, com uma velocidade de deformação de $0,8 \pm 0,1$ m/s, até que se alcance a ruptura, por separação das duas metades do corpo-de-prova, segundo o plano diametral vertical. Anota-se o valor da carga de ruptura (F). Com esta carga, calcula-se a resistência à tração do corpo-de-prova (RT), rompido por compressão diametral. Na FIG. 3.12 mostra o equipamento usado no ensaio.



FIG. 3.12 Prensa utilizada para o ensaio de RT
 Fonte: CASTELO BRANCO (2004)

O ensaio de resistência à tração, segundo ROBERTS⁶ *et al.* (1996) *apud*. ALBUQUERQUE (2005) é geralmente usado para a avaliação da susceptibilidade das misturas à água. Na susceptibilidade à água, a resistência à tração é determinada, em corpos de provas distintos, antes e após a imersão na água para a determinação da porcentagem de resistência à tração original retida. Um valor alto indica que um bom desempenho é esperado, enquanto um valor baixo sugere um desempenho ruim. A resistência à tração é usada também para ajudar na avaliação do potencial de trincamento de misturas asfálticas.

PINTO e PREUSLLER (1980), em estudos com módulos de resiliência de concretos asfálticos, indicaram determinados intervalos de variação para a resistência a tração, conforme TAB. 3.11. Os parâmetros encontrados estão correlacionados à temperatura ambiente, às especificações e procedimentos de projetos segundo as normas adotadas pelo DNER para CAP 50/60 (atual CAP 50/70) e CAP 85/100 e aos teores de betume variando entre 4,3% a 6,5%. Os intervalos de variação da resistência a tração independem da faixa granulométrica do agregado.

TAB. 3.11 Intervalos de variação para a resistência a tração (RT)

Tipo de CAP	Variação de σ_t (Kgf/cm²)
CAP 50/70	6,70 a 9,60
CAP 85/100	4,41 a 7,10

Fonte: PINTO e PREUSLLER (1980)

⁶ROBERTS, F. L., KANDHAL, P. S., BROWN, E. R., LEE, D., KENNEDY, T. W., *Hot mix asphalt materials, mixture design, and construction*. 2. ed. Maryland: National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation, 1996.

3.2.3 ENSAIO DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MR)

Nos meados dos anos 70, com a crescente tendência dos engenheiros projetistas de pavimentos baseados na teoria de sistemas de camadas elásticas, o conhecimento dos módulos de resiliência das misturas asfálticas brasileiras tornou-se indispensável para o desenvolvimento da mecânica dos pavimentos no país. (ALBUQUERQUE, 2005).

PINTO e PREUSSLER (1980) afirmam que os materiais que constituem a estrutura de um pavimento quando submetidos a carregamentos repetidos, de curta duração e sob tensões muito abaixo de sua plastificação apresentam comportamento aproximadamente elástico, não necessariamente linear.

O Módulo de Resiliência (MR) é o módulo elástico das misturas asfálticas medido sob carga repetida e em Compressão Diametral, conforme apresentado na FIG. 3.13. Este ensaio é realizado por compressão diametral com frisos de carga, com aplicação de carga durante 0,1 s e repouso de 0,9s. O MR para misturas asfálticas é dado pela relação entre a tensão de tração (σ_t) e a deformação específica recuperável (ϵ_t). A importância da realização deste ensaio reside no fato de que o mesmo é utilizado para o cálculo de tensões e deformações.

O ensaio de tração indireta por compressão diametral cíclica é empregado na determinação do módulo de resiliência de misturas asfálticas, uma vez que simulam o comportamento mecânico dos revestimentos asfálticos na região onde ocorrem deformações de tração, responsáveis pela fadiga da camada e, conseqüentemente, pela vida de serviço da estrutura. (PINTO, 1991).



FIG. 3.13 Equipamento usado para ensaio de MR

PINTO e PREUSSLER (1980) recomendam para as misturas betuminosas com teores de asfalto variando de 4,3% a 6,5% os seguintes intervalos para o módulo de resiliência, conforme TAB. 3.12.

TAB. 3.12 Intervalos de variação para módulo de resiliência (MR).

Tipo de CAP	Tipo de Camada	
	CAPA (Kgf/cm ²)	BINDER (KGF/cm ²)
CAP 50/70	27000 a 43000	27000 a 49000
CAP 85/100	19000 a 30000	22000 a 30000

Fonte: PINTO e PREUSLLER (1980)

Segundo MOTTA (1998), de forma genérica, pode-se dizer que o módulo de resiliência varia com a granulometria da mistura sendo maior quanto mais grossa for a faixa adotada; varia com o ligante asfáltico sendo maior quanto menor a penetração do asfalto ou maior a sua viscosidade, mas não é muito sensível ao teor de asfalto, dentro da faixa normal de dosagem.

MOTTA *et. al.* (2002) apresentam uma atualização do catálogo de curvas de fadiga divulgados pela ABPv (Associação Brasileira de Pavimentação), fruto do trabalho de PINTO e MOTTA (1995).

A relação entre o módulo e resiliência (MR) com a tensão de ruptura de tração (σ) dos revestimentos asfálticos, em vista de ser um indicativo da capacidade de resiliência das misturas asfálticas e sua resistência ao trincamento por tração frente às solicitações permite uma forma expedita de inferir o módulo resiliente de uma mistura asfáltica, através de dados de mais fácil obtenção com é o caso da resistência a tração (σ), como é sugerido em MOTTA (1998).

Relações MR/ σ encontrada para misturas betuminosas a quente com ligantes convencionais, ensaiadas à 25°C:

- PINTO (1991)

$$MR = 6461\sigma, \text{ com } R^2 = 0,96 \quad (3.3)$$

- MOTTA e PINTO (1994)

$$MR = 4385\sigma \quad (3.4)$$

- Procedimento de reforço DNER PRO 269/96

$$MR = 5000\sigma \quad (3.5)$$

3.2.4 ESTIMATIVA DA VIDA DE FADIGA

Segundo GONTIJO (1979) para a estimativa da vida de fadiga das misturas estudadas, aplicam-se ensaios que simulam as condições de solitação de uma rodovia e os que procuram uma aproximação fundamentada .

A fadiga é o fenômeno de degradação estrutural, progressivo e localizado, que sofre um material submetido a tensões ou deformações repetidas, inferiores a sua resistência última, podendo culminar na fissuração ou ruptura completa do material após um número suficiente de repetições. Portanto, a resistência à fadiga de uma mistura asfáltica pode ser definida como a capacidade da mesma de suportar, sem ruptura, as solitações repetidas. A FIG. 3.14 ilustra o ensaio em andamento.

Os equipamentos laboratoriais para ensaios dinâmicos permitem a aplicação de carregamentos cíclicos ao material sob o regime de tensão constante ou controlada e de deformação constante ou controlada.

No ensaio de *tensão controlada* (TC), a carga aplicada é mantida constante e as deformações resultantes aumentam no decorrer do ensaio. O ensaio de deformação controlada (DC) envolve a aplicação de cargas repetidas que produzam uma deformação constante ao longo do ensaio, o que conduz a uma diminuição da carga aplicada, para manter a deformação constante. Em ambos os ensaios há uma redução de rigidez inicial do material a uma nível que pode ser pré-estabelecido, no sentido de definir o fim do ensaio.

Em resumo, têm-se os seguintes critérios de fadiga segundo PINTO (1991)

Ensaio	Crítérios de Fadiga	Vida de Fadiga (N)
TC	Ruptura Completa	Fim do Ensaio
DC	Redução de Desempenho	Arbitrário Estágio de Ruptura
TC ou DC	Início de Fissuras	Retas N x ϵ agrupadas

Fonte: PINTO (1991)



FIG. 3.14 Ensaio de Fadiga em andamento

Fonte: (IME/RJ)

Para o início do ensaio, o *software* do equipamento (SiCMB) solicita o valor da resistência à tração e a porcentagem desejada desta. Com isso, é calculada a carga F que deve ser aplicada para obter-se este nível de tensão, conforme a EQ. 3.6:

$$F = \frac{100\pi DH}{2} \times (\%RT) \quad (3.6)$$

Onde:

F – carga aplicada, N;

RT – resistência à tração estática, MPa;

D – diâmetro do corpo de prova, cm;

H – altura do corpo de prova, cm.

O programa calcula também a diferença de tensões ($\Delta\sigma$) e a deformação resiliente inicial ε_i , utilizando as EQ 3.7 e EQ. 3.8, respectivamente.

$$\Delta\sigma = 4\sigma_T = \frac{8F}{\pi DH} \quad (3.7)$$

Onde:

$\Delta\sigma$ – diferença de tensões no centro do corpo de prova, Kgf/cm²;

F – carga aplicada, Kgf;

D – diâmetro do corpo de prova, cm;

H – altura do corpo de prova, cm.

$$\varepsilon_i = \frac{(\%RT)}{MR} \quad (3.8)$$

Onde:

ε_i – deformação resiliente inicial;

RT – resistência à tração estática, Kgf/cm²;

MR – módulo de resiliência, Kgf/cm².

Tradicionalmente, a vida de fadiga expressa pelo número N de solicitações necessárias para a conclusão do ensaio tem sido modelada em termos da deformação específica de tração, da diferença de tensões (estado biaxial de tensões) e da tensão de tração conforme mostram as EQ. 3.9, 3.10 e 3.11.

$$N = K \left(\frac{1}{\varepsilon_i} \right)^n ; \quad (3.9)$$

$$N = K \left(\frac{1}{\Delta \sigma} \right)^n ; \quad (3.10)$$

$$N = K \left(\frac{1}{\sigma_t} \right)^n \quad (3.11)$$

Onde:

N – vida de fadiga expressa em número de solicitações da carga;

ε_i – deformação específica resiliente inicial;

$\Delta \sigma$ – diferença de tensões ($\Delta \sigma = \sigma_c - (-\sigma_t) = 4\sigma_t$);

σ_t – tensão de tração;

K, n – parâmetros de fadiga determinados experimentalmente.

Segundo PORTER e KENNEDY⁷ (1975) *apud* PINTO *et al.* (1983), o modelo de fadiga em função da diferença de tensões possibilita comparar resultados obtidos a partir de diferentes tipos de ensaios.

Para transpor os dados do laboratório para o campo, PINTO (1991) propôs a adoção de um fator laboratório-campo (*shift factor*), ou seja, o número *N* de golpes do ensaio deve ser multiplicado por este fator para que seja obtido o número de passagens do eixo padrão na rodovia. PINTO (1991) sugere um fator de 10^4 para o caso dos ensaios e pavimentos trabalhando à tensão controlada, onde a área trincada seria de, no máximo, 20%. Em termos de pavimentos cujo comportamento é regido pela deformação específica de tração, o pesquisador sugere um fator de 10^5 .

3.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PISTA EXPERIMENTAL

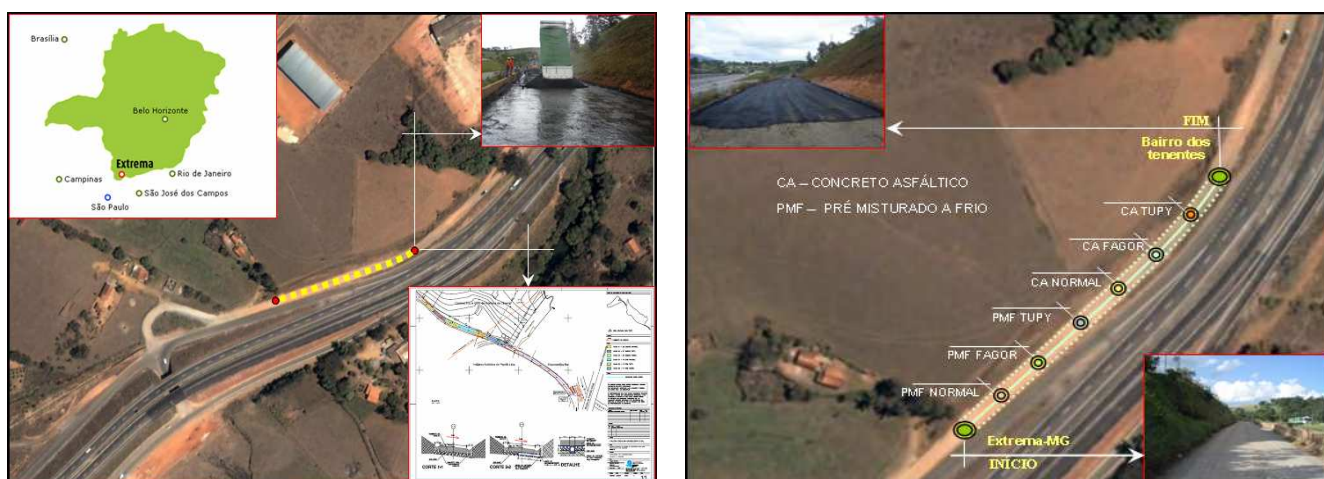
A fim de verificar o comportamento e desempenho das misturas com ADF, sob atuação de cargas do tráfego, variações climáticas de temperaturas e efeito da umidade foi proposta a execução de uma pista experimental, com o devido monitoramento estrutural/mecânico e ambiental.

O trecho teste de pavimentação foi realizado na Estrada dos Tenentes, localizada às margens da BR/381 - Rodovia Fernão Dias que faz ligação entre o centro do município de Extrema-MG e o bairro dos Tenentes aberta ao tráfego comercial com VMD de 44 veículos/dia, conforme apresentado na TAB. 3.13, com estimativa de número de aplicações de carga padrão (8,2 ton.) ao longo de 10 anos de $N = 1,1 \times 10^6$. A FIG. 3.15 mostra a localização da pista experimental com a subdivisão dos segmentos testes.

TAB. 3.13 Levantamento do tráfego realizado em abril de 2007, na estrada dos Tenentes - Extrema - MG

Categoria	Quant./dia	Porcentagem (%)
Veículos leves	119	73
CAMINHÃO TOCO	24	15
CAMINHÃO 2 EIXOS	10	6
CAMINHÃO 3 EIXOS	2	1
Ônibus	8	5
Total	163	100

⁷PORTER. B. W.; KENNEDY, T. W., *Comparison of fatigue test methods for asphalt materials*. Research Report 1834, Center for Highway Research, Texas, 1975.



(a) Arranjo geral do trecho experimental

(b) Divisão do trecho em 06 (seis) segmentos

FIG. 3.15 Localização do trecho estudado

De 09 de abril a 13 de abril de 2007, foram executados 6 (seis) diferentes segmentos de mistura asfáltica totalizando 120 metros de extensão/cada segmento. com aproximadamente 20m de extensão com diferentes tipos de materiais, objetivando-se a obtenção de parâmetros relacionados à ADF incorporada em massa asfáltica com as seguintes composições de teste:

Pré-Misturado a Frio - PMF

- 1º Segmento: Composto com agregado miúdo [Fria s/ ADF (FN)].
- 2º Segmento: Composto com substituição de agregados com areia de fundição Fagor [Frio Fagor (FF)].
- 3º Segmento: Composto com substituição de agregados com areia de fundição Tupy [Frio Tupy (FT)].

Concreto asfáltico - CA

- 4º Segmento: Composto com agregado miúdo [Quente s/ ADF (QN)].
- 5º Segmento: Composto com substituição de agregado com areia de fundição Fagor [Quente Fagor (QF)].
- 6º Segmento: Composto com substituição de agregados com areia de fundição Tupy [Quente Tupy (QT)].

A plataforma de rolamento média foi de 6,50 m, ou estrutura de pavimento de 5 cm de espessura de revestimento em concreto asfáltico (CA) ou pré-misturado a frio (PMF), 15 cm de base composta com material tipo “bica corrida” fornecida pela própria PME (Prefeitura

Municipal de Extrema) assente sobre subleito heterogêneo aonde foi removida a camada superficial do terreno e feita a regularização e alargamento da pista para o melhor aproveitamento do terreno. A FIG. 3.16 mostra a secção tipo do pavimento executado.

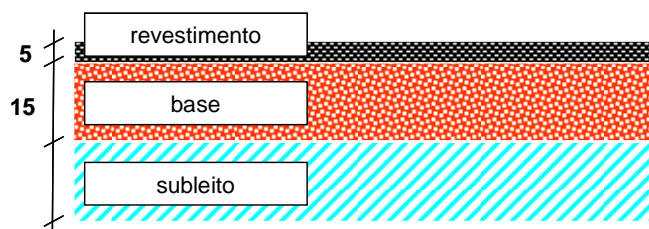


FIG. 3.16 Estrutura do pavimento executado em Extrema - MG

3.3.1 CAMADA DE SUBLEITO

Foi removida a camada superficial do terreno, assim com a sua regularização e feito alargamento da pista para o melhor aproveitamento do terreno, conforme ilustra a FIG. 3.17.



(a)



(b)

FIG. 3.17 Regularização do subleito do trecho experimental em Extrema (MG)

3.3.2 SISTEMA DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA PERCOLADA

Visando o monitoramento ambiental foram instalados sistemas de drenagem da água pluvial, que possivelmente percolasse no revestimento para coleta e verificação de uma possível contaminação do solo devido à presença dos diferentes tipos de ADFs (Tupy e Fagor). Os tubos de coleta foram instalados no meio de cada trecho evitando desta forma a contaminação dos materiais de trechos vizinhos, conforme ilustra a FIG. 3.18.

A água da chuva percolada no trecho experimental foi coletada através de 06 (seis) seringas e transferidas para frascos plásticos com vedação. Foram analisadas quimicamente nas datas padrão de 30, 60, 90 dias, para aferição de materiais carreados por lixiviação e solubilização do asfalto em plena carga e 180 e 365 dias, para determinação de eventuais alterações sob condições climáticas e maior índice de ocorrências de fraturas e oxidação do concreto.



(a) Instalação dos drenos de PVC



(b) Envolvamento do dreno com Brita n.º 1

FIG. 3.18 Sistema de captação d'água sub superficial no trecho experimental de Extrema (MG)

Nas FIG. 3.19 e FIG. 3.20 são mostrados os desenhos do tubo coletor para captação das águas percoladas pelo pavimento na pista experimental.

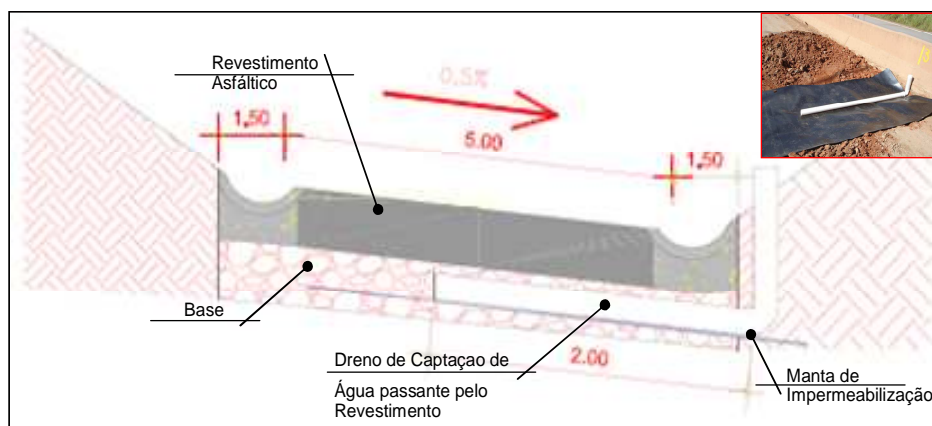


FIG. 3.19 Secção proposta para avaliação ambiental (Extrema - MG)



FIG. 3.20 Desenho do tubo coletor de água percolada

3.3.3 CAMADA DE BASE

A base, foi composta de bica corrida fornecida pela da própria Prefeitura Municipal de Extrema-MG (PME).

A bica corrida foi espalhada e compactada conforme ilustrado nas FIG. 3.21a e FIG. 3.21b.



(a) lançamento do material de base tipo bica corrida



(b) compactação da base

FIG. 3.21 Preparação da Camada de Base do trecho experimental de Extrema - MG

3.3.4 CAMADA DE REVESTIMENTO

A pavimentação teve seu início as 8:00 h do dia 13/04, tendo o seu término ao final do mesmo dia. Algumas das etapas construtivas para a construção do trecho experimental,

segundo a metodologia adotada pela Prefeitura Municipal de Extrema-MG para a pavimentação de ruas e acessos locais, inexistindo controle tecnológico, são ilustradas nas FIG. 3.22a, 3.22b, 3.22c, 3.22d, 3.22e 3.22f.



(a) Pintura de ligação



(b) Concreto asfáltico espalhado com moto niveladora



(c) Pré-misturado a frio (PMF), espalhado com retroscavadeira



(d) Compactação do PMF



(e) Compactação do concreto asfáltico



(f) Final do Trecho Teste

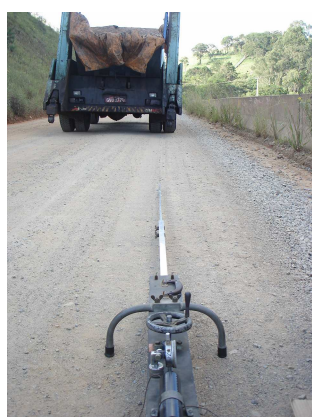
FIG. 3.22 Etapas construtivas da pista experimental em Extrema (MG)

3.3.5 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

Para obtenção dos valores das deflexões reversíveis e bacias de deformação utilizou-se ensaio não-destrutivo com equipamento de carregamento quase estático - Viga Benkelman convencional com relação de braço a/b: 4/1; caminhão com 8.2 tf de carga no eixo traseiro, igualmente distribuído entre as duas rodas duplas calibradas a $5,6 \text{ kg/cm}^2$ de pressão e régua de madeira de 2,50 m, graduada, cujos procedimentos são normalizados pelos métodos DNER-ME 24/94 – Determinação das deflexões pela viga Benkelman; DNER-ME 61/94 – Delineamento da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman e DNER-PRO 175/94 – Aferição da viga Benkelman

As medidas de deflexão foram realizadas em estações distanciadas ao longo do eixo de 2,50 metros e alternadas em cada faixa de tráfego (FIG. 3.23). O posicionamento do caminhão seguiu a metodologia descrita no item 5.2 do método DNER-ME 24/94, para leituras na trilha de roda externa.

Posiciona-se a ponta de prova da viga entre os pneus de roda dupla, tomando-se o cuidado de centrá-lo exatamente sob o eixo, se solta a trava da viga, ajusta-se o pé traseiro da viga até que o extensômetro fique próximo do meio do curso, liga-se o vibrador, faz-se a leitura inicial em centésimos de milímetro e desloca-se o caminhão à frente por pelo menos, 10 metros. Procede-se à leitura final em centésimos de milímetro.



(a) Ensaio em andamento



(b) Leitura das deflexões

FIG. 3.23 Levantamento Deflectométrico (Extrema - MG)

Uma mesma estrutura projetada poderá ter vários períodos de vida útil, quando submetida a solicitações diferentes a de projeto, sendo diferenciada em função do valor que a deformação possa atingir. Quanto menor for o valor da deformação, tanto maior será o

número de vezes que a estrutura poderá se deformar de forma reversível, mantendo a integridade da estrutura, ou seja, para a estrutura do pavimento resistir às aplicações de carga e não permitir o surgimento de trincas no revestimento é necessário manter a deflexão desse pavimento abaixo de um determinado valor, que é chamado de deflexão admissível (D_{adm}) e que depende da estrutura do pavimento e do número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf, número N. Quando se estabelece o número equivalente de aplicações da carga padrão de 8,2 tf/eixo ao longo da vida útil do pavimento, número N, significa dizer que o revestimento perderá a capacidade de se deformar reversivelmente sem ocorrência de trincas, após as N aplicações de cargas, transformadas em equivalentes ao eixo padrão, durante o período de solicitações.

Pesquisas comprovaram que, para pavimentos flexíveis constituídos por revestimentos em Concreto Asfáltico (CA) aplicado sobre base granular, a deflexão admissível (D_{adm}), em 1/100 mm, que permite ao pavimento suportar as N aplicações da carga padrão determinada sem ocorrência de trincamento do revestimento, pode ser correlacionado ao próprio número N através da equação 3.12, obtida da norma DNER – PRO 011/79 – Procedimento B.

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \cdot \log N \quad (3.12)$$

Dessa forma, determina-se o número N para que se calcule o valor máximo da deflexão no revestimento, que permita ao pavimento atingir a meta de vida pré-estabelecida, ou seja, possa sofrer deflexões recuperáveis durante o período de vida útil estabelecido.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 COMPORTAMENTO DOS RISCOS AMBIENTAIS

Visando fornecer subsídios com relação ao comportamento ambiental, segundo classificação obtida a partir da norma ABNT/NBR 10004 Resíduos Sólidos (Classificação), as análises nos ensaios de Lixiviação e Solubilização descritas nas Normas ABNT NBR 10005:2004 e ABNT NBR 10006:2004, respectivamente, foram executadas na amostra denominada: AREIA DE MOLDAGEM (areia verde), esta fornecida pela empresa FAGOR Ederlan Brasileira Ltda. e TUPY Fundições Ltda. Os testes de lixiviação e solubilização (anexos F e G), serviram como referência na identificação de sua periculosidade.

Os Anexos F e G se referem à lista de contaminantes com teores máximos que os resíduos sólidos podem conter, no caso de ultrapassagem dos teores estabelecidos nos Anexos F ou G, o resíduo sólido é caracterizado como perigoso em razão de sua toxicidade. Os resultados da análise para classificação da areia descartada de fundição, para a areia de moldagem da Fagor e da Tupy, podem ser observados nas TAB. 4.1 e TAB. 4.4 a seguir.

TAB. 4.1 Parâmetros Químicos no lixiviado e solubilizado – ADF da TUPY

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽³⁾
Alumínio				55,45	0,05	0,20
Arsênio	< LQ	0,005	1	0,01	0,005	0,01
Bário	0,476	0,003	70	0,50	0,003	0,7
Cádmio	< LQ	0,03	0,5	<LQ	0,004	0,005
Chumbo	<LQ	0,2	1	<LQ	0,003	0,01
Cianeto				<LQ	0,01	0,07
Cloreto				104	1	250
Cobre				0,02	0,01	2
Cromo Total	<LQ	0,08	5	<LQ	0,013	0,05
Fenóis Totais				<LQ	0,001	0,01
Ferro				20,7	0,02	0,30
Fluoreto	0,58	0,07	150	1,32	0,07	1,50
Manganês				0,13	0,02	0,1
Mercúrio	< LQ	0,0002	0,1	<LQ	0,0002	0,001
Nitrato				1,2	0,3	10
Prata	< LQ	0,05	5	<LQ	0,01	0,05
Selênio	0,008	0,007	1	<LQ	0,007	0,01
Sódio				210	0,1	200
Sulfato				300	1	250
Surfactantes				<LQ	0,04	0,5
Zinco				0,26	0,01	5

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

TAB. 4.2 Dados relativos ao ensaio de lixiviação – ADF da TUPY

Peso da Amostra tal que (g)	100,09
Teor de Sólidos Secos	99,50%
pH do Extrato Lixiviado	5
Tempo de Lixiviação	18 horas
Volume de Extrato do Lixiviado (ML)	2000

TAB. 4.3 Dados relativos ao ensaio de solubilidade – ADF da TUPY

Teor de Umidade	0,50%
pH do Extrato Solubilizado	7
Tempo de Solubilização	7 dias

TAB. 4.4 Parâmetros Químicos no lixiviado e solubilizado – ADF da FAGOR

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽³⁾
Alumínio				0,45	0,05	0,20
Arsênio	< 0,01	0,005	1	< 0,01	0,005	0,01
Bário	4,80	0,003	70	0,40	0,003	0,7
Cádmio	0,01	0,03	0,5	< 0,001	0,004	0,005
Chumbo	0,01	0,2	1	< 0,001	0,003	0,01
Cianeto				< 0,001	0,01	0,07
Cloreto				83,0	1	250
Cobre				0,31	0,01	2
Cromo Total	0,04	0,08	5	0,05	0,013	0,05
Fenóis Totais				< 0,01	0,001	0,01
Ferro				15,45	0,02	0,30
Fluoreto	< 0,20	0,07	150	< 0,20	0,07	1,50
Manganês				1,08	0,02	0,10
Mercúrio	< 0,01	0,0002	0,1	< 0,001	0,0002	0,001
Nitrato				1,30	0,3	10
Prata	< 0,01	0,05	5	< 0,01	0,01	0,05
Selênio	< 0,01	0,007	1	< 0,01	0,007	0,01
Sódio				92,0	0,1	200
Sulfato				104,0	1	250
Surfactantes				< 0,20	0,04	0,5
Zinco				1,02	0,01	5

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

TAB. 4.5. Dados relativos ao ensaio de lixiviação – ADF da FAGOR

Solução de Extração	1
Teor de Sólidos Secos	92,10%
pH do Extrato Lixiviado	3,9
Tempo de Lixiviação	18 horas
Volume de Extrato do Lixiviado (ML)	< 1 ML

TAB. 4.6. Dados relativos ao ensaio de solubilidade – ADF da FAGOR

Teor de Umidade	7,90%
pH do Extrato Solubilizado	9,17
Tempo de Solubilização	7 dias

Com relação à classificação ambiental do resíduo ADF, nas condições utilizadas no presente trabalho, os ensaios relativos no extrato lixiviado para todos os parâmetros analisados apresentaram concentrações inferiores às indicadas no Anexo F da norma

ABNT/NBR 10004:2004. Contudo as concentrações (mg/L) para os parâmetros alumínio (Al), ferro (Fe), manganês (mg), sódio (So) e sulfato (Su) ultrapassaram os limites máximos no extrato para o teste de solubilização às indicadas no Anexo G da norma ABNT/NBR 10004. Desta maneira, este material foi classificado como resíduo classe II A – Não Inerte.

Referente à misturas asfáltica, os corpos-de-prova contendo areia descartada de fundição (ADF), ensaiados mecanicamente, foram triturados para atingir granulometria abaixo de 9,5 mm como exige a norma NBR 10005:2004, e ensaiados de acordo com esta norma para lixiviação e à norma NBR 10006:2004 para solubilização que são mostrados no item 4.1.2 e no item 4.1.3.

4.1.1 MISTURA ASFÁLTICA COM ADF NO TRECHO EXPERIMENTAL

Com o objetivo de avaliar o comportamento da massa asfáltica com o resíduo incorporado, submeteu-se o material retirado de corpos-de-prova aos mesmos ensaios realizados para as amostras de resíduos. A justificativa para a realização destes ensaios em corpos de prova, foi para verificar se nas condições destes testes poderia haver liberação de contaminantes no resíduo para lixiviação. Segundo SANTANA (1996) existe um filme de ligante asfáltico que envolve as partículas do agregado de uma massa asfáltica.

Segundo os tecnologistas de asfaltos, essas espessuras variam de 10 a 100 microns. Deste modo, a lixiviação dos resíduos das areias de fundição para o meio ambiente, se houver, deverá causar pouco impacto ambiental, uma vez que o invólucro do filme asfáltico sobre os grãos de areia, a protege do contato com o meio ambiente.

Os ensaios classificatórios de resíduos, lixiviação, solubilização e água percolada na pista experimental, foram realizados em amostras de ADF (resíduo de fundição) da empresa TUPY fundições Ltda., localizada no município de Joinville-SC e da empresa FAGOR Ederlan Brasileira Ltda. localizada no município de Extrema-MG, na massa asfáltica do tipo PMF (pré-misturado a frio) s/ ADF, na massa asfáltica do tipo PMF contendo 10% de ADF da empresa FAGOR e na massa asfáltica do tipo concreto asfáltico contendo 10% de ADF da empresa FAGOR.

Tais ensaios foram realizados parte no laboratório da empresa KZ Análises Químicas Ltda., localizada em Atibaia-SP, e outra pela empresa TASQA Serviços Analíticos Ltda., localiza em Paulínia-SP, segundo, respectivamente, a NBR 10005:2004 e a NBR 10006:2004.

4.1.2 PRÉ-MISTURADO A FRIO COM ADF NO TRECHO EXPERIMENTAL

Na TAB. 4.7 são mostrados os resultados ambientais nas misturas asfálticas do tipo PMF utilizando areia descartada de fundição (areia verde) da empresa FAGOR. Métodos de análises constantes do “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, 20° ed. APHA, AWWA e WPCF.

TAB. 4.7 Parâmetros químicos da Amostra PMF com 10% de ADF da FAGOR

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽³⁾
Alumínio				0,23	0,05	0,20
Arsênio	< 0,01	0,005	1	< 0,01	0,005	0,01
Bário	3,00	0,003	70	0,08	0,003	0,70
Cádmio	0,003	0,03	0,5	0,001	0,004	0,005
Chumbo	0,004	0,2	1	0,002	0,003	0,01
Cianeto				< 0,01	0,01	0,07
Cloreto				94,0	1	250
Cobre				0,24	0,01	2
Cromo Total	0,02	0,08	5	< 0,01	0,013	0,05
Fenóis Totais				< 0,01	0,001	0,01
Ferro				0,43	0,02	0,30
Fluoreto	< 0,01	0,07	150	< 0,20	0,07	1,50
Manganês				0,10	0,02	0,10
Mercúrio	< 0,01	0,0002	0,1	< 0,001	0,0002	0,001
Nitrato				1,10	0,3	10
Prata	< 0,01	0,05	5	< 0,01	0,01	0,05
Selênio	< 0,01	0,007	1	< 0,01	0,007	0,01
Sódio				62,0	0,10	200
Sulfato				82,0	1	250
Surfactantes				< 0,20	0,04	0,5
Zinco				0,23	0,01	5

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

TAB. 4.8 Dados relativos ao ensaio de lixiviação – PMF c/ 10% de ADF da FAGOR

Solução de Extração	1
Teor de Sólidos Secos	99,84%
pH do Extrato Lixiviado	5,03
Tempo de Lixiviação	18 horas
Volume de Extrato do Lixiviado (ml)	< 1 ml

TAB. 4.9 Dados relativos ao ensaio de solubilidade – PMF c/ 10% de ADF da FAGOR

Teor de Umidade	0,16%
pH do Extrato Solubilizado	7,70
Tempo de Solubilização	7 dias

Conforme os dados obtidos nos ensaios de – lixiviação e solubilização a KZ análises Químicas Ltda. sugere a caracterização do resíduo com classe IIB – Inerte.

A TAB. 4.10 mostra os resultados ambientais referentes à amostra de mistura asfáltica do tipo pré-misturado a frio (PMF) sem incorporação de resíduo de areia descartada de fundição procedente do trecho experimental. O método de análise consta no “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, 20° ed. APHA, AWWA e WPCF.

TAB. 4.10 Parâmetros químicos da Amostra PMF s/ ADF

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽³⁾
Alumínio				0,18	0,05	0,20
Arsênio	< 0,01	0,005	1	< 0,01	0,005	0,01
Bário	5,00	0,003	70	0,05	0,003	0,70
Cádmio	0,002	0,03	0,5	< 0,001	0,004	0,005
Chumbo	0,002	0,2	1	0,001	0,003	0,01
Cianeto				< 0,01	0,01	0,07
Cloreto				78,0	1	250
Cobre				0,1	0,01	2
Cromo Total	0,01	0,08	5	< 0,01	0,013	0,05
Fenóis Totais				< 0,01	0,001	0,01
Ferro				0,33	0,02	0,30
Fluoreto	< 0,20	0,07	150	< 0,20	0,07	1,50
Manganês				0,08	0,02	0,10
Mercúrio	< 0,01	0,0002	0,1	< 0,001	0,0002	0,001
Nitrato				1,00	0,3	10
Prata	< 0,01	0,05	5	< 0,01	0,01	0,05
Selênio	< 0,01	0,007	1	< 0,01	0,007	0,01
Sódio				79,0	0,10	200
Sulfato				71,5	1	250
Surfactantes				< 0,20	0,04	0,5
Zinco				0,30	0,01	5

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

TAB. 4.11 Dados relativos ao ensaio de lixiviação – PMF s/ ADF.

Solução de Extração	1
Teor de Sólidos Secos	99,84%
pH do Extrato Lixiviado	4,99
Tempo de Lixiviação	18 horas
Volume de Extrato do Lixiviado (ml)	< 1 ml

TAB. 4.12 Dados relativos ao ensaio de solubilidade – PMF s/ ADF.

Teor de Umidade	0,16%
pH do Extrato Solubilizado	7,65
Tempo de Solubilização	7 dias

Conforme os dados obtidos nos ensaios de – lixiviação e solubilização a KZ análises Químicas Ltda. sugere a caracterização do resíduo com classe IIB – Inerte.

4.1.3 CONCRETO ASFÁLTICO COM ADFS NO TRECHO EXPERIMENTAL

Os corpos-de-prova extraídos do trecho foram enviados ao Laboratório KZ localizado em Bragança Paulista – SP para serem caracterizados segundo a norma de referência brasileira de classificação de resíduos.

O corpo-de-prova contendo 10% de RAVF Tupy atendeu todos os requisitos exigidos, sendo, portanto classificado como um material inerte. Na TAB. 4.13 estão apresentados os resultados do ensaio do lixiviado e do solubilizado do corpo-de-prova contendo 10% de RAVF Tupy.

Já os resultados ambientais do CA com 10% de RAVF da FAGOR apresentou alumínio e ferro acima do permitido da norma conforme se observa na Tabela 33.

O solubilizado do RAVF da Fagor apresentou 0,45 mg/L de alumínio e 15,45 mg/L de Ferro, porém quando foi adicionado 10 % de RAVF na mistura asfáltica, este apresentou no solubilizado 0,25 mg/L de alumínio e 0,38 mg/L de Ferro e o parâmetro manganês não foi solubilizado, mostrando que houve uma redução significativa destes íons, justificado pelo “encapsulamento” do CAP

A TAB. 4.14 mostra os resultados ambientais referentes à amostra de mistura asfáltica do tipo CA incorporando areia descartada de fundição da empresa FAGOR. O método de

análise consta no “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*”, 20° ed. APHA, AWWA e WPCF.

TAB. 4.13 Parâmetros Químicos da Amostra CA c/ 10% ADF TUPY

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ₍₂₎	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ₍₂₎
Alumínio				0,18	0,05	0,2
Arsênio	< LQ	0,005	1	< LQ	0,005	0,01
Bário	0,15	0,003	70	< LQ	0,003	0,7
Cádmio	< LQ	0,03	0,5	< LQ	0,004	0,005
Chumbo	< LQ	0,2	1	< LQ	0,003	0,01
Cloretos				82,00	1	250
Cobre				< LQ	0,01	2
Cromo Total	< LQ	0,08	5	< LQ	0,013	0,05
Fenóis totais				< LQ	0,001	0,01
Ferro				0,23	0,02	0,3
Fluoretos	0,32	0,07	150	0,10	0,07	1,5
Manganês				< LQ	0,02	0,1
Mercurio	< LQ	0,0002	0,1	< LQ	0,0002	0,001
Nitrato (expresso em N)				< LQ	0,3	10
Prata	< LQ	0,05	5	< LQ	0,01	0,05
Selênio				< LQ	0,007	0,01
Sódio				4,32	0,1	200
Sulfato (expresso em SO ₄)				< LQ	1	250
Zinco				< LQ	0,01	5

ND: Não detectado.

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

TAB. 4.14 Parâmetros Químicos da Amostra CA com 10% ADF FAGOR

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽³⁾
Alumínio				0,25	0,05	0,20
Arsênio	< 0,01	0,005	1	< 0,01	0,005	0,01
Bário	2,00	0,003	70	0,10	0,003	0,70
Cádmio	0,004	0,03	0,5	< 0,001	0,004	0,005
Chumbo	0,005	0,2	1	0,003	0,003	0,01
Cianeto				< 0,01	0,01	0,07
Cloreto				62,0	1	250
Cobre				0,20	0,01	2
Cromo Total	0,03	0,08	5	< 0,01	0,013	0,05
Fenóis Totais				< 0,01	0,001	0,01
Ferro				0,38	0,02	0,30
Fluoreto	< 0,20	0,07	150	< 0,20	0,07	1,50
Manganês				0,10	0,02	0,10
Mercurio	< 0,01	0,0002	0,1	< 0,001	0,0002	0,001
Nitrato				0,90	0,3	10
Prata	< 0,01	0,05	5	< 0,01	0,01	0,05
Selênio	< 0,01	0,007	1	< 0,01	0,007	0,01
Sódio				92,0	0,10	200
Sulfato				88,5	1	250
Surfactantes				< 0,20	0,04	0,5
Zinco				0,23	0,01	5

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

TAB. 4.15 Dados relativos ao ensaio de lixiviação – CA c/ 10% ADF FAGOR

Solução de Extração	1
Teor de Sólidos Secos	99,81%
pH do Extrato Lixiviado	4,95
Tempo de Lixiviação	18 horas
Volume de Extrato do Lixiviado (ml)	< 1 ml

TAB. 4.16 Dados relativos ao ensaio de solubilização – CAUQ c/ 10% ADF FAGOR

Teor de Umidade	0,19%
pH do Extrato Solubilizado	7,64
Tempo de Solubilização	7 dias

Conforme os dados obtidos nos ensaios de – lixiviação e solubilização, embora os parâmetros alumínio (Al) e ferro (Fe) apresentando valores ligeiramente acima dos VMPs, a KZ Análises Químicas Ltda. caracterizou a amostra em concreto asfáltico como classe IIB – Inerte.

4.1.4 ANÁLISE DA ÁGUA PERCOLADA NO TRECHO EXPERIMENTAL

A água pluvial percolada no trecho experimental foi coletada através de 06 (seis) seringas e transferidas para frascos plásticos com vedação. Estes frascos foram enviados ao Laboratório KZ para verificar se haveria liberação de espécies químicas das misturas asfálticas estudadas para a água percolada.

Foram analisadas as misturas contendo ADF da TUPY, FAGOR e areia de rio ou cava (convencional) e os resultados estão expostos nas TAB. 4.17, TAB. 4.18, TAB. 4.19, TAB. 4.20 e TAB. 4.21, respectivamente.

Todas as misturas analisadas apresentaram alumínio e ferro acima do estabelecido para o solubilizado. Como a caixa de coleta do percolado possui orifícios abertos, pode-se justificar que houve contaminação da água percolada possivelmente pela presença finos e/ou solos com metais ferrosos que entraram em contato com esta por determinado tempo liberando os íons de alumínio e/ou ferro, explicando os resultados apresentados conforme TAB. 4.17, TAB. 4.18, TAB. 4.19, TAB. 4.20 e TAB. 4.21.

TAB. 4.17 Parâmetros Químicos da água percolada PMF s/ ADF

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LD	VMP ⁽²⁾	Resultado	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽³⁾
Alumínio				0,80	0,025	0,20
Arsênio	ND	0,013	1	ND	0,013	0,01
Bário	0,50	0,125	70	0,50	0,125	0,70
Cádmio	ND	0,003	0,5	ND	0,003	0,005
Chumbo	ND	0,008	1	ND	0,008	0,01
Cianeto				ND	0,025	0,07
Cloreto				50,0	2,500	250
Cobre				0,4	0,025	2
Cromo Total	0,05	0,025	5	0,05	0,025	0,05
Fenóis Totais				ND	0,025	0,01
Ferro				6,93	0,025	0,30
Fluoreto	ND	0,500	150	ND	0,500	1,5
Manganês				0,05	0,025	0,10
Mercúrio	ND	0,003	0,1	ND	0,003	0,001
Nitrato				ND	0,025	10
Prata	ND	0,025	5	ND	0,025	0,05
Selênio	ND	0,025	1	ND	0,025	0,01
Sódio				20,0	0,250	200
Sulfato				62,0	2,500	250
Surfactantes				ND	0,500	0,5
Zinco				0,35	0,025	5

LD : Limite de Detecção

NR : Não Realizado

ND : Não Detectado

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

Volume inicial da amostra : 1200 ml

Volume final , após diluição : 3000 ml

TAB. 4.18 Parâmetros Químicos da água percolada PMF c/ ADF da FAGOR

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LD	VMP ⁽²⁾	Resultado	LD	VMP ⁽³⁾
Alumínio				1,10	0,043	0,2
Arsênio	ND	0,022	1	ND	0,022	0,01
Bário	1,00	0,215	70	0,40	0,215	0,70
Cádmio	ND	0,004	0,5	ND	0,004	0,005
Chumbo	ND	0,013	1	ND	0,013	0,01
Cianeto				ND	0,043	0,07
Cloreto				60,0	4,300	250
Cobre				0,60	0,043	2
Cromo Total	0,129	0,043	5	0,129	0,043	0,05
Fenóis Totais				ND	0,043	0,01
Ferro				20,47	0,043	0,3
Fluoreto	ND	0,860	150	ND	0,860	1,5
Manganês				0,06	0,043	0,1
Mercúrio	ND	0,004	0,1	ND	0,004	0,001
Nitrato				ND	0,043	10
Prata	ND	0,043	5	ND	0,043	0,05
Selênio	ND	0,043	1	ND	0,043	0,01
Sódio				30,0	0,430	200
Sulfato				70,0	4,300	250
Surfactantes				ND	0,860	0,5
Zinco				0,52	0,043	5

LD : Limite de Detecção

NR : Não Realizado

ND : Não Detectado

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

Volume inicial da amostra : 700 ml

Volume final , após diluição : 3000 ml

TAB. 4.19 Parâmetros Químicos da água percolada CA c/ ADF da FAGOR

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LD	VMP ⁽²⁾	Resultado	LD	VMP ⁽³⁾
Alumínio				0,95	0,03	0,20
Arsênio	ND	0,015	1	ND	0,015	0,01
Bário	0,80	0,150	70	0,30	0,15	0,70
Cádmio	ND	0,003	0,5	ND	0,003	0,005
Chumbo	ND	0,009	1	ND	0,009	0,01
Cianeto				ND	0,03	0,07
Cloreto				72,0	3,000	250
Cobre				0,60	0,043	2
Cromo Total	0,06	0,03	5	0,06	0,03	0,05
Fenóis Totais				ND	0,03	0,01
Ferro				34,32	0,03	0,30
Fluoreto	ND	0,600	150	ND	0,600	1,5
Manganês				0,10	0,03	0,10
Mercúrio	ND	0,003	0,1	ND	0,003	0,001
Nitrato				ND	0,03	10
Prata	ND	0,03	5	ND	0,03	0,05
Selênio	ND	0,03	1	ND	0,03	0,01
Sódio				28,0	0,430	200
Sulfato				74,0	3,000	250
Surfactantes				ND	0,600	0,5
Zinco				0,72	0,03	5

LD : Limite de Detecção

NR : Não Realizado

ND : Não Detectado

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

Volume inicial da amostra : 1000 ml

Volume final , após diluição : 3000 ml

TAB. 4.20 Parâmetros Químicos da água percolada CA s/ ADF

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LD	VMP ⁽²⁾	Resultado	LD	VMP ⁽³⁾
Alumínio				0,71	0,019	0,20
Arsênio	ND	0,009	1	ND	0,09	0,01
Bário	0,80	0,094	70	0,30	0,094	0,70
Cádmio	ND	0,002	0,5	ND	0,002	0,005
Chumbo	ND	0,006	1	ND	0,006	0,01
Cianeto				ND	0,019	0,07
Cloreto				72,0	1,880	250
Cobre				0,60	0,019	2
Cromo Total	0,056	0,019	5	0,06	0,019	0,05
Fenóis Totais				ND	0,019	0,01
Ferro				16,47	0,019	0,30
Fluoreto	ND	0,376	150	ND	0,376	1,5
Manganês				0,05	0,019	0,10
Mercúrio	ND	0,002	0,1	ND	0,002	0,001
Nitrato				ND	0,019	10
Prata	ND	0,019	5	ND	0,019	0,05
Selênio	ND	0,019	1	ND	0,019	0,01
Sódio				31,0	0,188	200
Sulfato				68,0	1,880	250
Surfactantes				ND	0,376	0,5
Zinco				0,25	0,019	5

LD : Limite de Detecção

NR : Não Realizado

ND : Não Detectado

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

Volume inicial da amostra : 1600 ml

Volume final , após diluição : 3000 ml

TAB. 4.21 Parâmetros Químicos da água percolada CA c/ ADF da TUPY

Parâmetros	Lixiviado (mg/L)			Solubilizado (mg/L)		
	NBR 10005			NBR 10006		
	Resultado	LD	VMP ⁽²⁾	Resultado	LD	VMP ⁽³⁾
Alumínio				1,30	0,019	0,20
Arsênio	ND	0,03	1	ND	0,09	0,01
Bário	2,00	0,300	70	ND	0,094	0,70
Cádmio	ND	0,006	0,5	ND	0,002	0,005
Chumbo	ND	0,018	1	ND	0,006	0,01
Cianeto				ND	0,019	0,07
Cloreto				85,0	1,880	250
Cobre				0,66	0,019	2
Cromo Total	0,12	0,06	5	0,12	0,019	0,05
Fenóis Totais				ND	0,019	0,01
Ferro				20,16	0,019	0,30
Fluoreto	ND	1,200	150	ND	0,376	1,5
Manganês				ND	0,019	0,10
Mercúrio	ND	0,006	0,1	ND	0,002	0,001
Nitrato				ND	0,019	10
Prata	ND	0,06	5	ND	0,019	0,05
Selênio	ND	0,06	1	ND	0,019	0,01
Sódio				45,0	0,188	200
Sulfato				96,0	1,880	250
Surfactantes				ND	0,376	0,5
Zinco				1,20	0,019	5

LD : Limite de Detecção

NR : Não Realizado

ND : Não Detectado

⁽¹⁾ LQ : Limite de Qualificação

⁽²⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo F da NBR 10.004:2004

⁽³⁾ VMP : Valor Máximo Permitido - anexo G da NBR 10.004:2004

Volume inicial da amostra : 500 ml

Volume final , após diluição : 3000 ml

Os resultados de classificação da ADF revelaram que somente cinco parâmetros do extrato solubilizado ultrapassaram os limites máximos permitidos, a saber: alumínio, ferro, manganês, sódio e sulfato. Nenhum dos parâmetros do extrato lixiviado extrapolou os limites. Estes cinco parâmetros do extrato solubilizado foram chamados aqui de "parâmetros críticos da ADF", conforme apresentado na TAB. 4.22.

A fim de compreender a influência dos diversos materiais nos parâmetros críticos no RAVF e no corpo-de-prova com RAVF, estes parâmetros também foram analisados nas matérias-primas (bentonita natural e ativada, pó de carvão e areia lavada) que podem estar explicando os resultados ambientais do RAVF conforme apresentado na TAB. 4.22.

TAB. 4.22 Comparativo dos Cinco Parâmetros Críticos do Solubilizado - AVF

Parâmetros	AV F	Areia Lavada	Bentonita Natural	Bentonita Ativada	Pó de Carvão	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾
Alumínio	2,98	0,044	11,5	6,59	< LQ	0,05	0,2
Ferro	11,3	< LQ	1,98	3,15	< LQ	0,02	0,3
Manganês	0,04	< LQ	0,032	< LQ	0,19	0,02	0,1
Sódio	104	5,64	31,1	7,28	3,58	0,1	200
Sulfato	220	10	48	4	33	1	250

⁽¹⁾ LQ= Limite de Quantificação.

⁽²⁾ VMP = Valor Máximo Permitido.

TAB. 4.23 Comparativo dos Cinco Parâmetros Críticos do Solubilizado – Areia convencional e o CAP

Parâmetros	Areia Convencional	CAP-50/70	LQ ⁽¹⁾	VMP ⁽²⁾
Alumínio	14,9	0,013	0,05	0,2
Ferro	4,55	< LQ	0,02	0,3
Manganês	0,052	< LQ	0,02	0,1
Sódio	0,94	0,35	0,1	200
Sulfato	4	< LQ	1	250

⁽¹⁾ LQ= Limite de Quantificação.

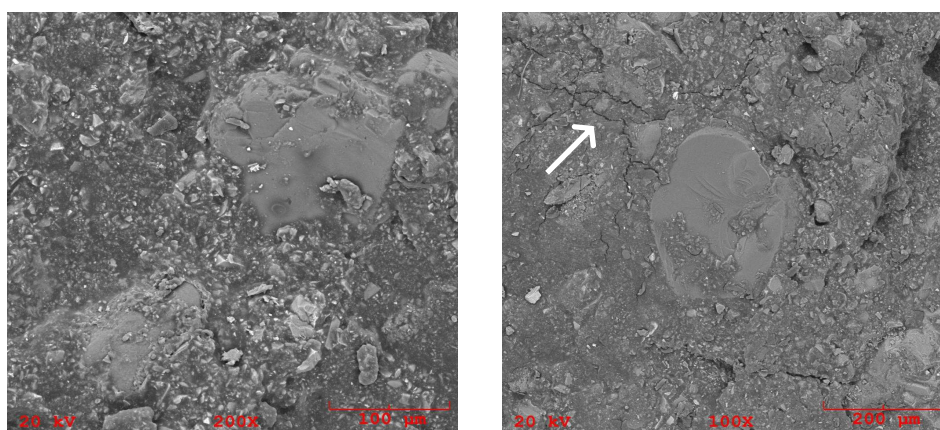
⁽²⁾ VMP = Valor Máximo Permitido.

4.1.5 INTERFACE ENTRE MISTURA ASFÁLTICA E ADFS

CARNIN, (2008) com o objetivo de verificar a interface entre o ligante e os agregados na mistura asfáltica em corpos-de-prova extraídos do trecho experimental realizou um estudo de microestrutura com incorporação da ADF e sem ADF

O procedimento de preparo dos materiais observados no microscópio eletrônico de varredura foi o mesmo descrito no item sobre comportamento do risco ambiental, sendo feito no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC localizado em Joinville.

Segundo CARNIN, (2008) com o objetivo de avaliar a adesividade e possíveis micro fissuras na matriz da massa asfáltica foi realizada micrografia eletrônica de varredura em amostras de concreto asfáltico moldadas na pista experimental. A microestrutura da mistura asfáltica do pavimento executado com 10% de ADF da TUPY apresentou boa interface entre agregado e o ligante, conforme apresentado na FIG. 4.1a. Já a microestrutura do material sem incorporação de ADF, apresentou micro fissuras, conforme ilustra a FIG. 4.1b, possivelmente ocorrida durante o processo de compactação da camada de revestimento.



a) *Micrografia mostrando a interface entre o agregado e o ligante (CAP) da mistura asfáltica com 10% ADF – Pista Experimental*

b) *Micrografia mostrando a interface entre o agregado e o ligante (CAP) da mistura asfáltica s/ADF – Pista Experimental.*

FIG. 4.1 Interface agregado e ligante asfáltico (Cps de Extrema - MG)

4.2 COMPORTAMENTO MECÂNICO

Para os corpos-de-prova moldados no Laboratório do IPR/DNIT foram escolhidos os ensaios mecânicos de compressão diametral para determinação da resistência à tração (RT) de acordo com o método DNER-ME 138/94, do módulo de resiliência (MR) de misturas asfálticas de acordo com o método DNER-ME 133/94 para expressar as propriedades resiliente e de ruptura por fadiga (PINTO, 1991) à temperatura de $25\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$. Esse procedimento leva a uma caracterização fenomenológica do material betuminoso, onde a ruptura por fadiga N é relacionada à tensão máxima de tração σ_t , ou a máxima deformação de tração inicial ε_i , que atua na face inferior da camada asfáltica, através de modelos semi-empíricos da forma: $N = f(\sigma_t)$ ou $N = f(\varepsilon_i)$.

A vida de fadiga e o módulo de resiliência foram determinados a partir de ensaios de compressão diametral de cargas repetidas, utilizando equipamento constituído essencialmente por uma estrutura metálica que serve de suporte a um pistão que aplica uma carga repetida (F) na amostra, através de um dispositivo pneumático com um sistema de regulador do tempo de aplicação da carga (*timer*). As deformações horizontais diametraes (Δ) sofridas pela amostra são medidas por dois transdutores (LVDT) acoplados lateralmente à amostra e dispõe-se de uma câmara para controle de temperatura.

A escolha da temperatura de ensaio e da frequência do carregamento podem ser justificados através de considerações climáticas e do hábito de carga preponderante, em uma região do país.

Os vários corpos-de-prova provenientes da pista experimental foram enviados ao laboratório do Instituto Militar de Engenharia (IME/RJ) para realizar os mesmo ensaios descritos anteriormente. Para determinação da resistência à tração (RT) e do módulo de resiliência (MR) foram realizados, para cada mistura dosada, ensaios com três corpos-de-prova cilíndricos, adotando-se um coeficiente de Poisson (μ) de 0,30 para o cálculo do módulo. A TAB. 4.24 mostra a quantidade de amostras fabricadas e extraídas para os ensaios mecânicos.

TAB. 4.24 Quantidade de corpos-de-prova para a pesquisa.

Origem Cp's	Misturas	Dosagem	Ensaio Mecânicos			Total
			RT	MR	Fadiga	
Fabricados Laboratório IPR	CA TUPY c/ 10% RAF	9	3	3	12	27
	CA FAGOR c/ 8% RAF	3	3	3	12	21
	CA NORMAL c/ 8% areia	9	2	3	8	21
Moldados na pista Extrema-MG	CA TUPY c/ 10% RAF		3	3	12	18
	CA FAGOR c/ 10% RAF		3	3	12	18
	CA s/ ADF s/ areia		3	3	12	18
Fabricados Laboratório IPR	CA TUPY c/ 10% ADF		3	3		6
	CA FAGOR c/ 10% ADF		3	3		6
	CA s/ ADF s/ areia		3	3		6
Fabricados Laboratório IPR	PMF TUPY c/ 10% ADF		3	3	12	18
	PMF FAGOR c/ 10% ADF		3	3	12	18
	PMF s/ ADF s/ areia		3	3	12	18
Fabricados Laboratório IPR	PMF TUPY c/ 10% ADF		3	3		6
	PMF FAGOR c/ 10% ADF		3	3		6
	PMF s/ ADF s/ areia		3	3		6
TOTAL		21	44	44	104	213

4.2.1 RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (RT)

Os ensaios de resistência à tração (RT) por compressão diametral foram realizados em prensa Marshall no laboratório do IPR com o auxílio de frisos metálicos que transmite a carga a duas geratrizes opostas ao corpo-de-prova.

A TAB. 4.25 apresenta os resultados médios da resistência à tração (RT) por compressão diametral das misturas estudadas.

TAB. 4.25 Resultados da resistência a tração (RT)

Origem CP's	Mistura	RT a 25°C (MPa)	Desvio Padrão
Moldados	CA TUPY c/ 10% RAF	0,92	0,04
Laboratório	CA FAGOR c/ 8% RAF	0,95	0,02
IPR	CA s/ ADF c/8% areia convencional	0,99	-
Moldados	CA TUPY c/ 10% RAF	1,83	0,05
Pista	CA FAGOR c/ 10% RAF	1,84	0,05
Extrema_MG	CA s/ ADF s/ areia convencional	1,96	0,03
Extraídos	CA TUPY c/ 10% ADF	0,98	0,03
Pista	CA FAGOR c/ 10% ADF	1,07	0,04
Extrema_MG	CA s/ ADF s/ areia convencional	0,83	0,06
Moldados	PMF TUPY c/ 10% ADF	0,32	0,06
Pista	PMF FAGOR c/ 10% ADF	0,29	0,06
Extrema_MG	PMF s/ ADF	0,19	0,17
Extraídos	PMF TUPY c/ 10% ADF	0,47	0,18
Pista	PMF FAGOR c/ 10% ADF	0,54	0,05
Extrema_MG	PMF s/ ADF	0,27	0,07

Podem ser vistos na FIG. 4.2 o gráfico com os valores representativos da resistência a tração para as misturas agrupadas por tipo de misturas.

**Resistência à Tração - RT à 25°C (MPa)
3% a 5% Vazios**

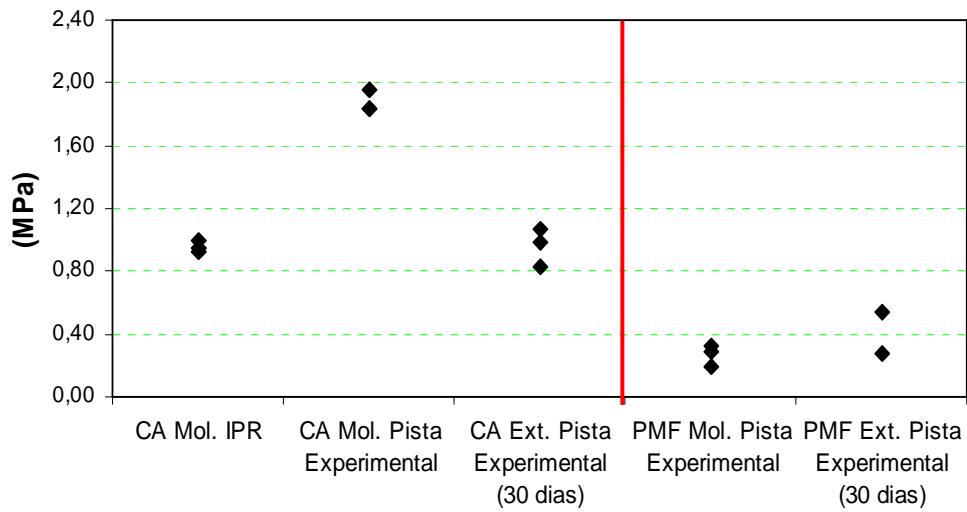


FIG. 4.2 Resistência a tração (RT) das misturas estudadas

4.2.2 MÓDULO DE RESILIÊNCIA (MR)

O procedimento para obtenção do módulo de resiliência consistiu na determinação de três valores do módulo durante a realização de três ciclos de ensaio para cada corpo-de-prova. Cada ciclo foi composto por uma quantidade determinada de golpes de condicionamento e 10 (dez) golpes para a determinação do módulo. Para o primeiro ciclo, utilizaram-se 40 (quarenta) golpes de condicionamento e para os dois últimos ciclos, 10 (dez) golpes de condicionamento. A TAB. 4.26 e TAB. 4.27 apresentam os valores do módulo de resiliência (MR) à temperatura de 25°C agrupados por parâmetros.

TAB. 4.26 Resultados do módulo de resiliência (MR) para CA

Mistura	Origem CP's	N.º C.P.	Ciclo 1 (40) Módulo Resiliente (MPa)	Ciclo 2 (10) Módulo Resiliente (MPa)	Ciclo 3 (10) Módulo Resiliente (MPa)	MR Médio (MPa)	Intervalo de Confiança 95%	MR _(95%)
Concreto Asfáltico	TUPY c/ 10% ADF	4ct	3533	3500	3605	3935	3690	3987
	CP's moldados	5ct	4152	3755	3984		a	
	Laboratório IPR	6ct	4643	4056	4187		4180	
	FAGOR c/ 8% ADF	4bf	3178	3336	3040	3216	3057	3179
	CP's moldados	5bf	3112	3090	2768		a	
	Laboratório IPR	6bf	3462	3514	3442		3375	
s/ ADF c/ 8% Areia	3a	3831	3587	3771	3838	3709	3840	
CP's moldados	4a	4081	3884	3874		a		
Laboratório IPR	-	-	-	-		3967		
Concreto Asfáltico Após 30 dias	TUPY c/ 10% ADF	4h	4656	4485	4408	4356	4123	4494
	CP's extraídos	5h	4716	4656	4589		a	
	Pista Extrema_MG	6h	3840	3941	3914		4589	
	FAGOR c/ 10% ADF	4i	4469	4307	4343	3447	2801	3575
	CP's extraídos	5i	2170	2323	2145		a	
	Pista Extrema_MG	6i	4113	3298	3852		4092	
s/ ADF s/ AP	4j	3640	3649	3703	3663	3482	3673	
CP's extraídos	5j	3918	3991	3821		a		
Pista Extrema_MG	6j	3021	3623	3602		3845		
Concreto Asfáltico Reaquecidas	TUPY c/ 10% ADF	4b	7309	7479	7418	7467	7303	7468
	CP's moldados	5b	7263	7298	7252		a	
	Pista Extrema_MG	6b	8046	7583	7551		7630	
	FAGOR c/ 10% ADF	4c	8470	8594	8832	7351	6548	7529
	CP's moldados	5c	8030	7493	7065		a	
	Pista Extrema_MG	6c	5736	6191	5745		8154	
s/ ADF s/ AP	4d	6969	7030	6896	8171	7523	8350	
CP's moldados	5d	9239	9102	9250		a		
Pista Extrema_MG	6d	8698	8297	8055		8818		

TAB. 4.27 Resultados do módulo de resiliência (MR) para PMF

Mistura	Origen CP's	N.º C.P.	Ciclo 1 (40) Módulo Resiliente (MPa)	Ciclo 2 (10) Módulo Resiliente (MPa)	Ciclo 3 (10) Módulo Resiliente (MPa)	MR Médio (MPa)	Intervalo de Confiança 95%	MR _(95%)	
Pré-Misturado a Frio	TUPY c/ 10% ADF	4e	2441	2443	2299	2483	2069	2579	
	CP's moldados	5e	2884	2828	3821		a		
	Pista Extrema_MG	6e	1936	1912	1787		2898		
	FAGOR c/ 10% ADF	4f	2229	2191	2112	2409	2157		
	CP's moldados	5f	2222	2103	2134		a		
	Pista Extrema_MG	6f	3157	2819	2718		2662		
Pré-Misturado a Frio Após 30 dias	s/ ADF s/ AP	4g	1045	988	922	931	884	936	
	CP's moldados	5g	944	877	792		a		
	Pista Extrema_MG	6g	952	968	894		979		
	TUPY c/ 10% ADF	4l	4541	3992	3633	3758	3396		3690
	CP's extraídos	5l	3614	3520	3248		a		
	Pista Extrema_MG	6l	-	-	-		4120		
FAGOR c/ 10% ADF	4m	2644	1832	1142	2654	1869	3143		
CP's extraídos	5m	-	-	-		a			
Pista Extrema_MG	6m	3521	3432	3354		3439			
Pré-Misturado a Frio Após 30 dias	s/ ADF s/ AP	4n	1268	988	989	1440		942	1359
	CP's extraídos	5n	2226	1820	-			a	
	Pista Extrema_MG	6n	-	-	-			1938	

Podem ser vistos na FIG. 4.3 o gráfico com os valores representativos do módulo de resiliência para as misturas agrupados por tipo de misturas.

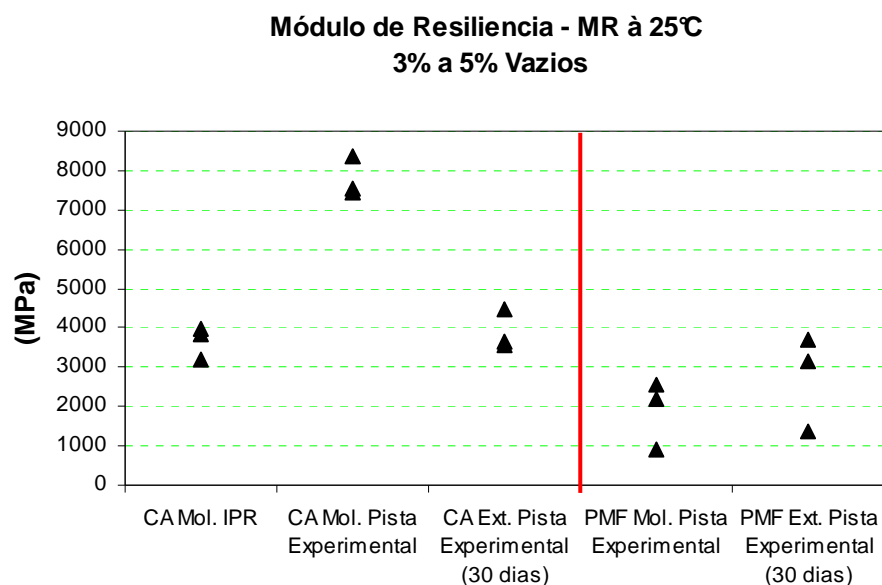


FIG. 4.3 Módulo de resiliência das misturas estudadas (MR)

Com o objetivo de eliminar algum valor discrepante realizou-se um tratamento estatístico dos dados através do critério de rejeição de dispersos. O intervalo definido representa uma probabilidade de 95% dos valores obtidos no ensaio pertencerem a ele. Foi utilizada a equação para determinar o intervalo de variação dos valores dos módulos.

4.2.3 COMPORTAMENTO A FADIGA

Os ensaios de fadiga foram realizados sob *tensão controlada* (TC), ou seja, a carga aplicada é mantida constante e as deformações resultantes aumentam no decorrer do ensaio, com uma frequência de 60 aplicações por minuto e 0,1 s de duração do carregamento repetido.

Determinou-se o número de repetições necessárias à ruptura completa do corpo-de-prova correspondente a níveis de carregamento de 10% a 40% da resistência à tração estática para as misturas do tipo concreto asfáltico (CA) na temperatura de ensaio. Para as misturas do tipo pré-misturado a frio (PMF) os níveis de carregamento foram de 30% a 50% da resistência a tração estática, em virtude dos baixos valores de RT , obtido em laboratório. De maneira geral, para cada nível de tensão de tração atuante, foram ensaiados 03 (três) corpos-de-prova, perfazendo cerca de 12 (doze) corpos de prova por modelo de fadiga.

Nas TAB 4.27, TAB. 4.28 e TAB. 4.29 são mostradas as equações geradas nos ensaios de fadiga expressas como uma função da diferença de tensões ($\Delta\sigma$) inicial em MPa e seus coeficientes (K1 e n1). Nas FIG 4.4, FIG 4.5, FIG 4.6, FIG 4.7, FIG 4.8, FIG 4.9, FIG 4.10, FIG 4.11 e FIG 4.12, são mostrados os gráficos das relações obtidas entre o número de repetições “N” *versus* diferença de tensões $\Delta\sigma$ das misturas pesquisadas. Para as FIG 4.4, FIG. 4.5 e FIG. 4.6, observa-se boa correlação entre os pontos experimentais e as curvas ajustadas, pelos valores de coeficientes de determinação superiores a 0,90, para misturas em concreto asfáltico moldadas em laboratório (IPR). Verifica-se também que para estas misturas o comportamento à fadiga para CA com ADF da FAGOR foi melhor que o observado na mistura CA com ADF da TUPY à medida que decresce o nível de tensão, embora não seja conveniente se analisar diretamente curvas de fadiga de misturas distintas fora do contexto de uma análise envolvendo toda a estrutura do pavimento quando os valores de MR são diferentes.

TAB. 4.27 Características de fadiga para CPs em CA, fabricadas no IPR

Origem CP's	Misturas	$N = K_1 (1/\Delta\sigma)^{n_1}$			$N = K_2 (1/\epsilon_i)^{n_2}$		
		K_1	n_1	R^2	K_2	n_2	R^2
Moldados	CA TUPY c/ 10% RAF	1093,2	2,30	0,96	2×10^{-7}	2,30	0,96
Laboratório	CA FAGOR c/ 8% RAF	1715,3	3,25	0,97	8×10^{-11}	3,25	0,97
IPR	CA s/ ADF c/ 8% AP	2176,0	2,73	0,90	8×10^{-9}	2,73	0,90

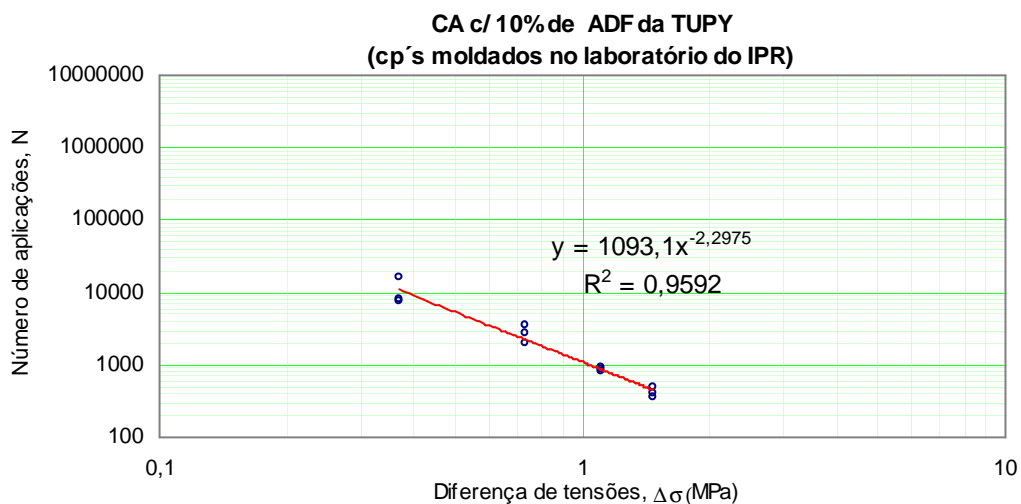


FIG. 4.4 Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Tupy

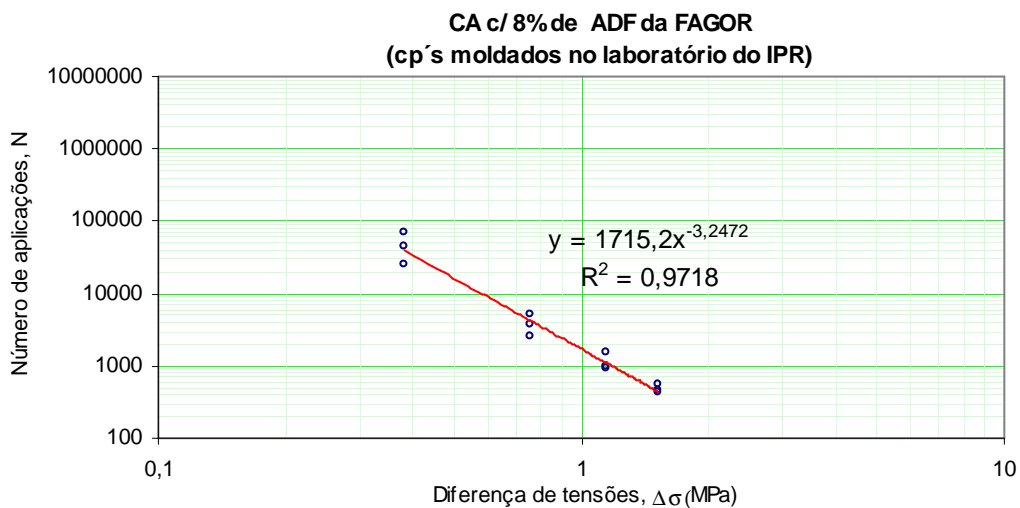


FIG. 4.5 Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Fagor

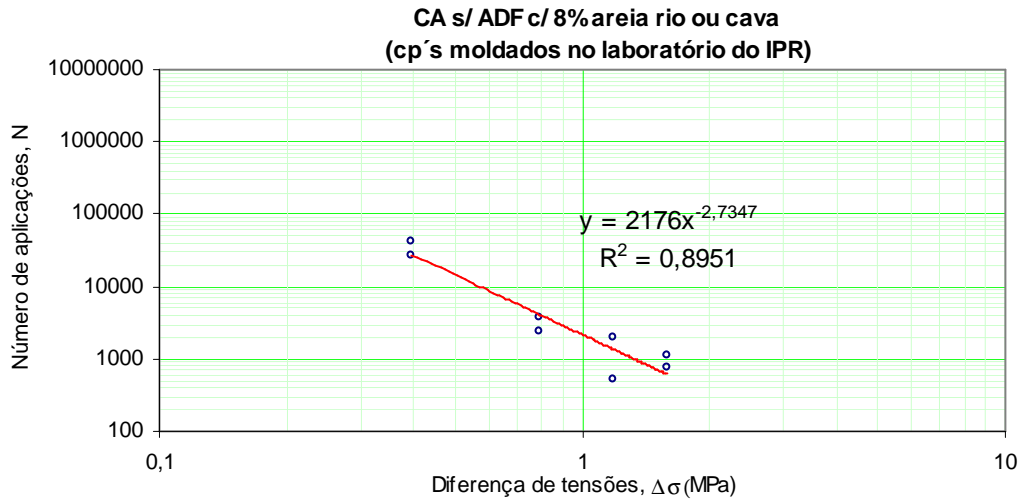


FIG. 4.6 Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), s/ ADF

TAB. 4.27 Características de fadiga para CPs em CBUQ moldados na pista experimental

Origem CP's	Misturas	$N = K_1 (1/\Delta\sigma)^{n_1}$			$N = K_2 (1/\epsilon_i)^{n_2}$		
		K_1	n_1	R^2	K_2	n_2	R^2
Moldados	CA TUPY c/ 10% ADF	84210	3,46	0,84	3×10^{-11}	3,46	0,84
Pista	CA FAGOR c/ 10% ADF	150484	4,49	0,96	2×10^{-15}	4,49	0,96
Extrema_MG	CA s/ ADF	99353	3,82	0,95	5×10^{-13}	3,82	0,95

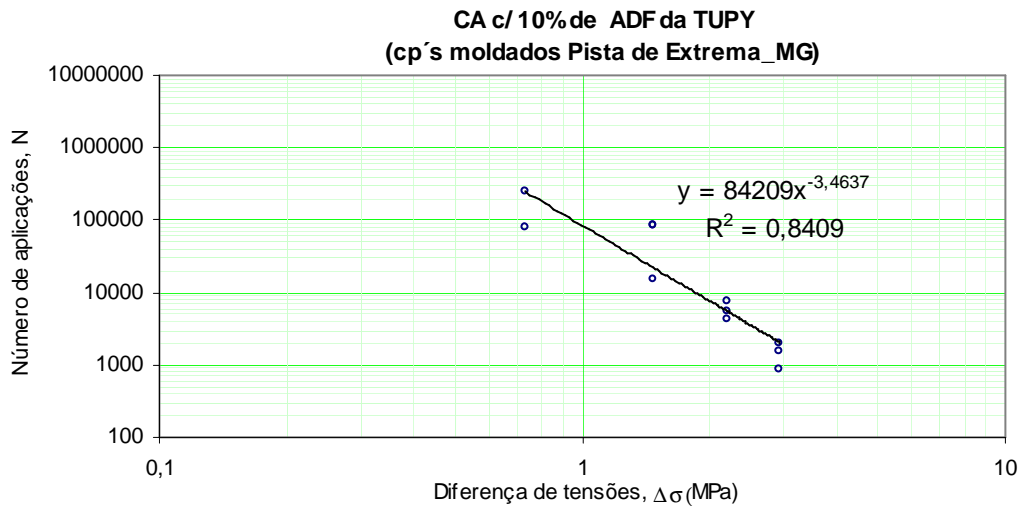


FIG. 4.7 Vida de fadiga versus diferenças de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Tupy

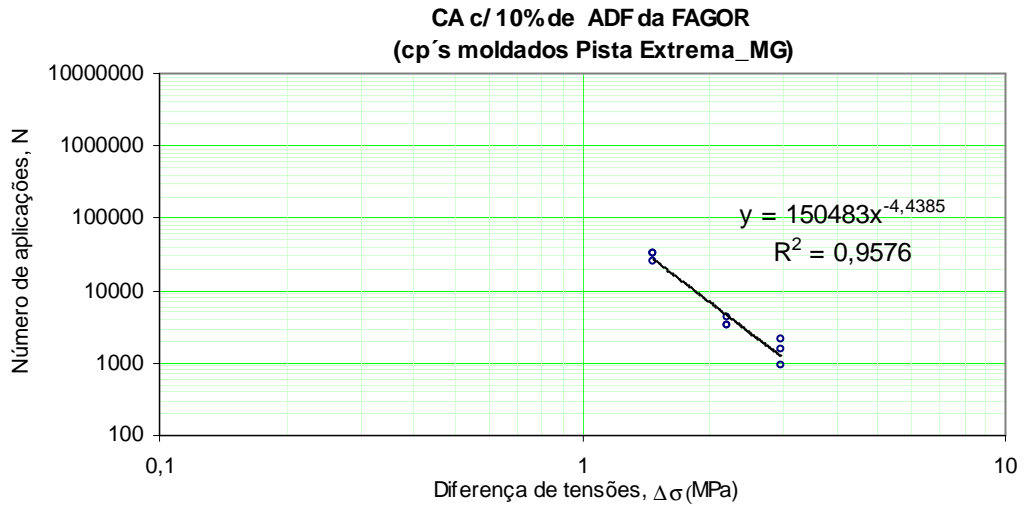


FIG. 4.8 Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Fagor

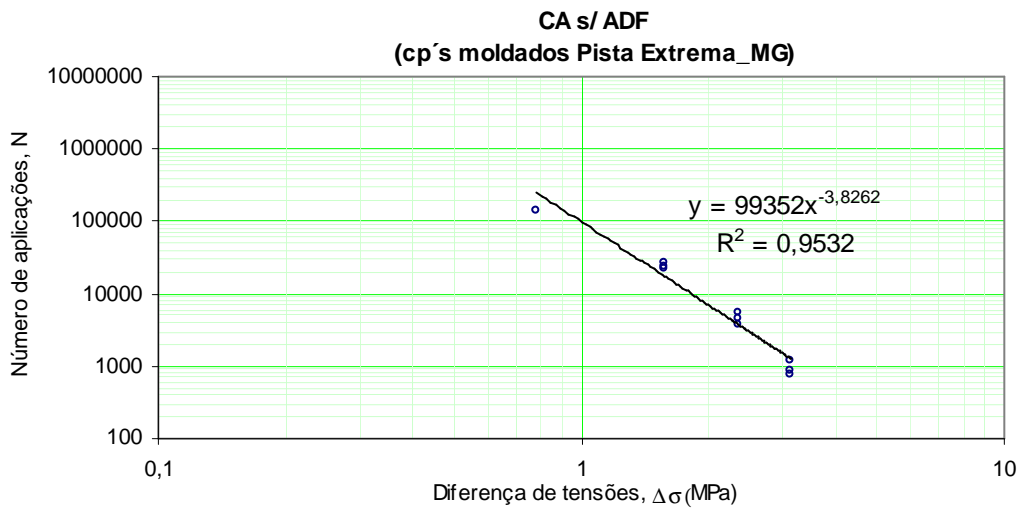


FIG. 4.9 Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), s/ ADF

TAB. 4.28 Características de fadiga para CPs em PMF moldados na pista experimental

Origem CP's	Misturas	$N = K_1 (1/\Delta\sigma)^{n_1}$			$N = K_2 (1/\epsilon_i)^{n_2}$		
		K_1	n_1	R^2	K_2	n_2	R^2
Moldados	PMF TUPY c/ 10% ADF	171,2	4,41	0,57	3×10^{-16}	4,41	0,57
Pista	PMF FAGOR c/ 10% ADF	147,1	3,95	0,65	4×10^{-14}	3,95	0,65
Extrema_MG	PMF s/ ADF	25,3	2,56	0,67	2×10^{-8}	2,56	0,67

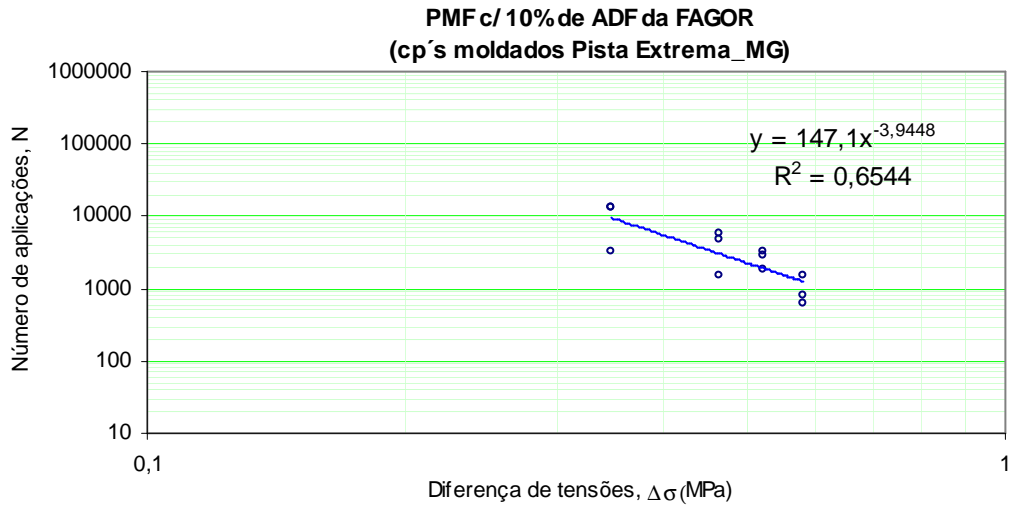


FIG. 4.10 Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Fagor

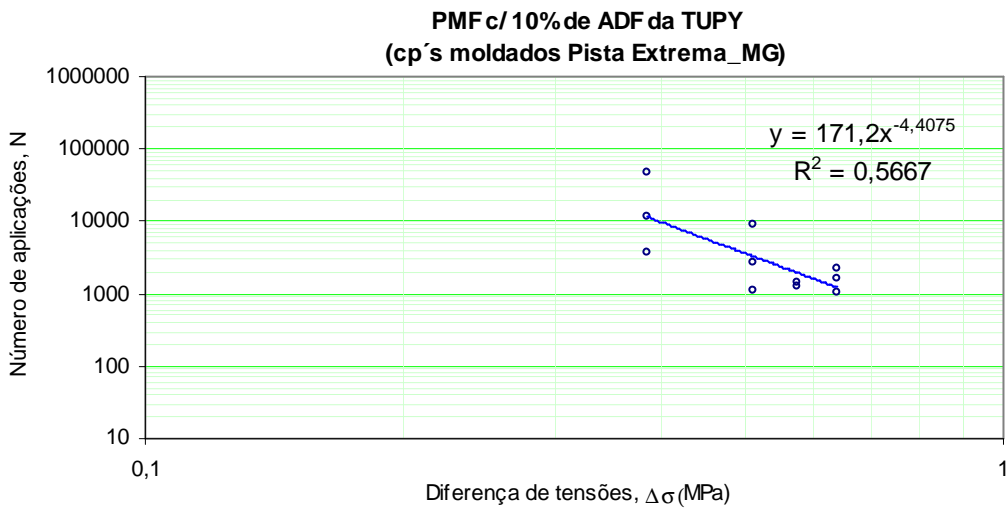


FIG. 4.11 Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa), c/ ADF Tupy

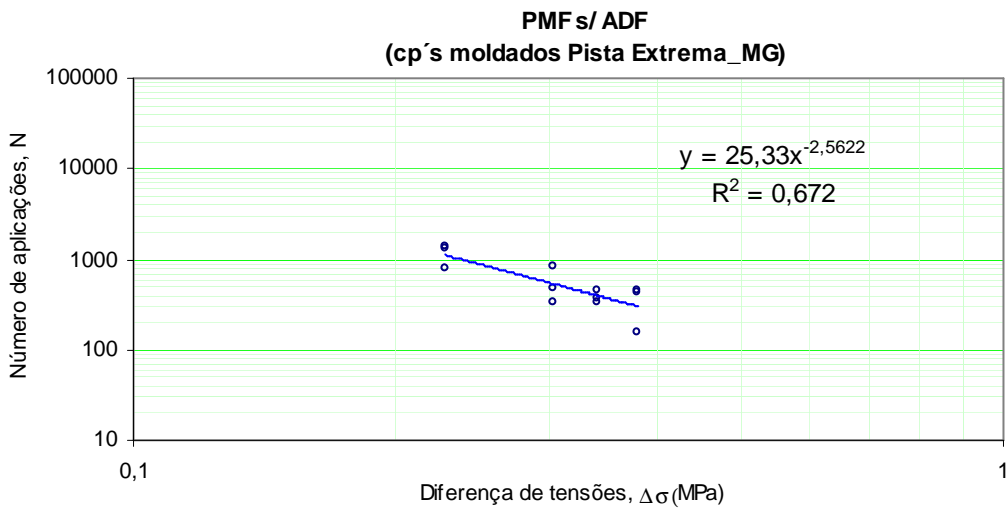


FIG. 4.12 Vida de fadiga versus diferença de tensões $\Delta\sigma$ (MPa) s/ ADF

Comparando-se as vidas de fadiga para as misturas asfálticas estudadas para as diferenças de tensões investigadas, verificou-se que as misturas preparadas no laboratório do IPR foram as que apresentaram desempenho mais adequado uma vez que as misturas provenientes da pista experimental tiveram desempenho não condizente com a realidade, pois as propriedades do ligante foram alteradas pelo reaquecimento para compactação dos corpos-de-prova em laboratório. A comparação realizada teve por objetivo apenas verificar o comportamento das curvas de fadiga para os níveis de tensões selecionados. Os valores encontrados para as amostras confeccionadas em laboratório (IPR), mostraram-se compatíveis com aqueles usualmente encontrados segundo PINTO, (1991).

4.2.4 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL

O controle alternativo das camadas dos pavimentos flexíveis com emprego da viga Benkelman para o trecho experimental, tornou-se um instrumento muito valioso para o controle das obras de pavimentação da pista experimental, por ser simples, rápido, eficiente e não destrutivo.

A primeira campanha para aquisição dos dados deflectométrico foi realizada na primeira semana de abril entre os dias 09 e 13. Os valores levantados para as camadas de sub-leito, base e revestimento são mostrados a seguir.

4.2.4.1 CAMADA DE SUBLEITO

A camada final de terraplenagem (aqui denominada subleito) foi composta por uma argila vermelha cujas características médias (granulometria, densidade máxima, umidade ótima, ISC e expansão) estão indicadas na TAB. 4.29 e TAB. 4.30. A densidade máxima foi obtida através do ensaio Proctor Normal, conforme exigido nas especificações para obras rodoviárias.

TAB. 4.29 Características do material de subleito

Peneira	3/8"	N. 4	N. 10	N. 40	N. 200
% Passando	100	99,5	97,3	81,4	65,6
Densidade Máxima (Kg/m ³)	1,61				
Umidade ótima (%)	21				
ISC (%)	11,5				
Expansão (%)	1,42				

Fonte: Autor

TAB. 4.30 Índices físicos do solo estudado

Indicadores de Plasticidade	
Limite de Liquidez (%)	46,6
Limite de Plasticidade (%)	27,2
Índice de Plasticidade (%)	19,4

Fonte: Autor

Para inferir a homogeneidade da camada e verificar a sua capacidade estrutural foram realizadas 12 (doze) medidas deflectométricas na trilha de roda externa (TRE) com o uso de viga Benkelman. A deflexão média para o trecho citado foi de $D_{\text{médio}} = 199$ centésimos de milímetros desvio padrão de $\sigma = 123$, coeficiente de variação de $cv = 62\%$ e deflexão característica de $D_c = 322$ centésimo de mm, considerando 5% de extensão ou área do pavimento com $D_i > D_c$ segundo metodologia do DNIT. A FIG. 4.13 apresenta a deformada medida na estaca n.º 6, representativa para a camada de subleito.

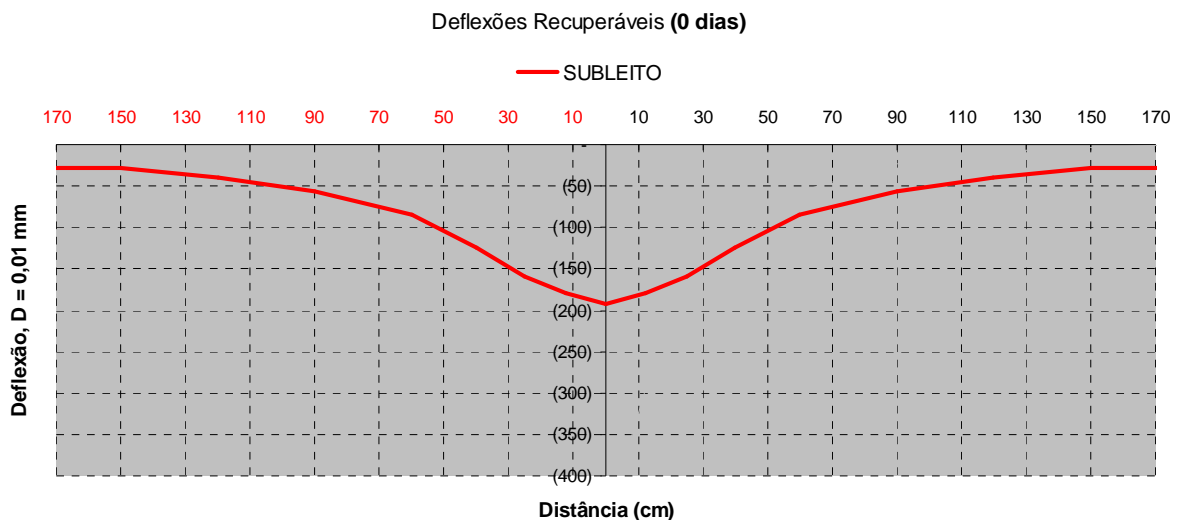


FIG. 4.13 Levantamento deflectométrico na estaca n.º 6

4.2.4.2 CAMADA DE BASE

A camada de base foi composta por uma bica corrida cujas características médias (granulometria, densidade máxima, umidade ótima, ISC e expansão) estão indicadas na TAB. 4.31. A densidade máxima foi obtida através do ensaio Proctor Modificado, conforme exigido nas especificações para obras rodoviárias.

TAB. 4.31 Características do material de base

Peneira	1.1/2"	1"	3/8"	N. 4	N. 10	N. 40	N. 200
% Passando	100	90,8	60,3	47,6	36,6	21,6	11,2
Densidade Máxima (Kg/m ³)	1,61						
Umidade ótima (%)	21						
ISC (%)	11,5						
Expansão (%)	1,42						

Fonte: Autor

Para inferir a homogeneidade da camada e verificar a sua capacidade estrutural foram realizados 12 (doze) medidas deflectométricas na trilha de roda externa (TRE) com o uso de viga Benkelman. A deflexão média para o trecho citado foi de $D_{\text{médio}} = 164$ centésimos de mm, desvio padrão de $\sigma = 83,2$ coeficiente de variação de $cv = 51\%$ e deflexão característica de $D_c = 247,2$ considerando 5% de extensão ou área do pavimento com $D_i > D_c$ segundo metodologia do DNIT. A FIG. 4.14 apresenta a deformada medida na estaca n.º 6, representativa para a camada de base.

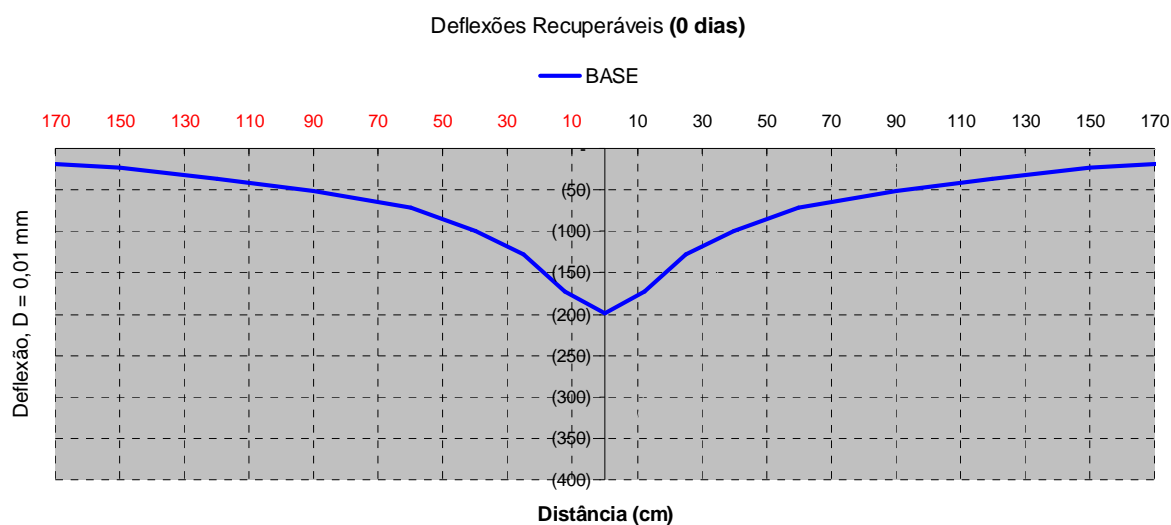


FIG. 4.14 Levantamento deflectométrico na estaca n.º 6, Base

4.2.4.3 CAMADA DE REVESTIMENTO

No dia 02 de julho de 2007 foram feitas novas campanhas de medidas de deflexões para obter novos parâmetros de avaliação após 60 dias de abertura ao tráfego. Os valores correspondentes são mostrados na FIG. 4.15. O trecho seguiu estaqueamento de 0 a 53, sendo as estacas pares referentes à faixa direita e as estacas ímpares à faixa esquerda, tendo como referência o sentido centro da cidade de Extrema - MG/Bairro dos Tenentes.

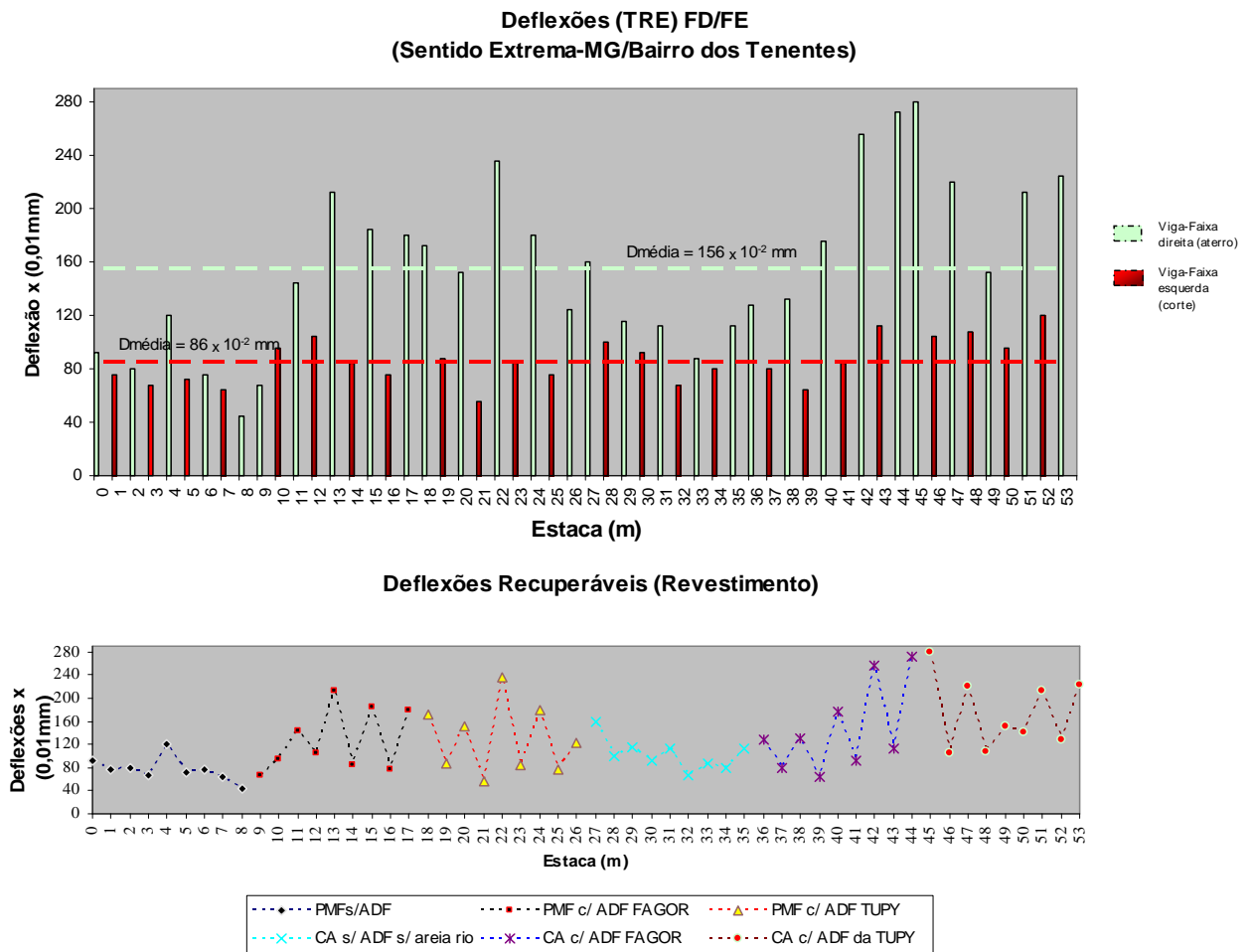


FIG. 4.15 Levantamento deflectométrico – Extrema - MG (após 60 dias)

Na FIG. 4.15 são mostradas as deflexões obtidas na trilha de roda externa (TRE) para a borda direita e borda esquerda no sentido centro da cidade de Extrema-MG ao bairro dos Tenentes. Por se tratar de uma seção mista as deflexões da borda direita (seção em corte) foram maiores que as borda esquerda (seção em aterro) cerca de 80 %, a 60 dias de abertura ao tráfego.

No dia 04 de setembro de 2007 foi feita a terceira e última campanha de levantamento deflectométrico para obter novos parâmetros de avaliação, como ilustrado na FIG. 4.16. O trecho seguiu o estaqueamento de 0 a 53, sendo as estacas pares referentes a borda direita e as estacas ímpares à borda esquerda, tendo como referência o sentido centro da cidade ao bairro dos Tenentes, após 120 dias de abertura ao tráfego as deflexões da borda direita (seção em corte) também foram maiores que as borda esquerda (seção em aterro) cerca de 88 %.

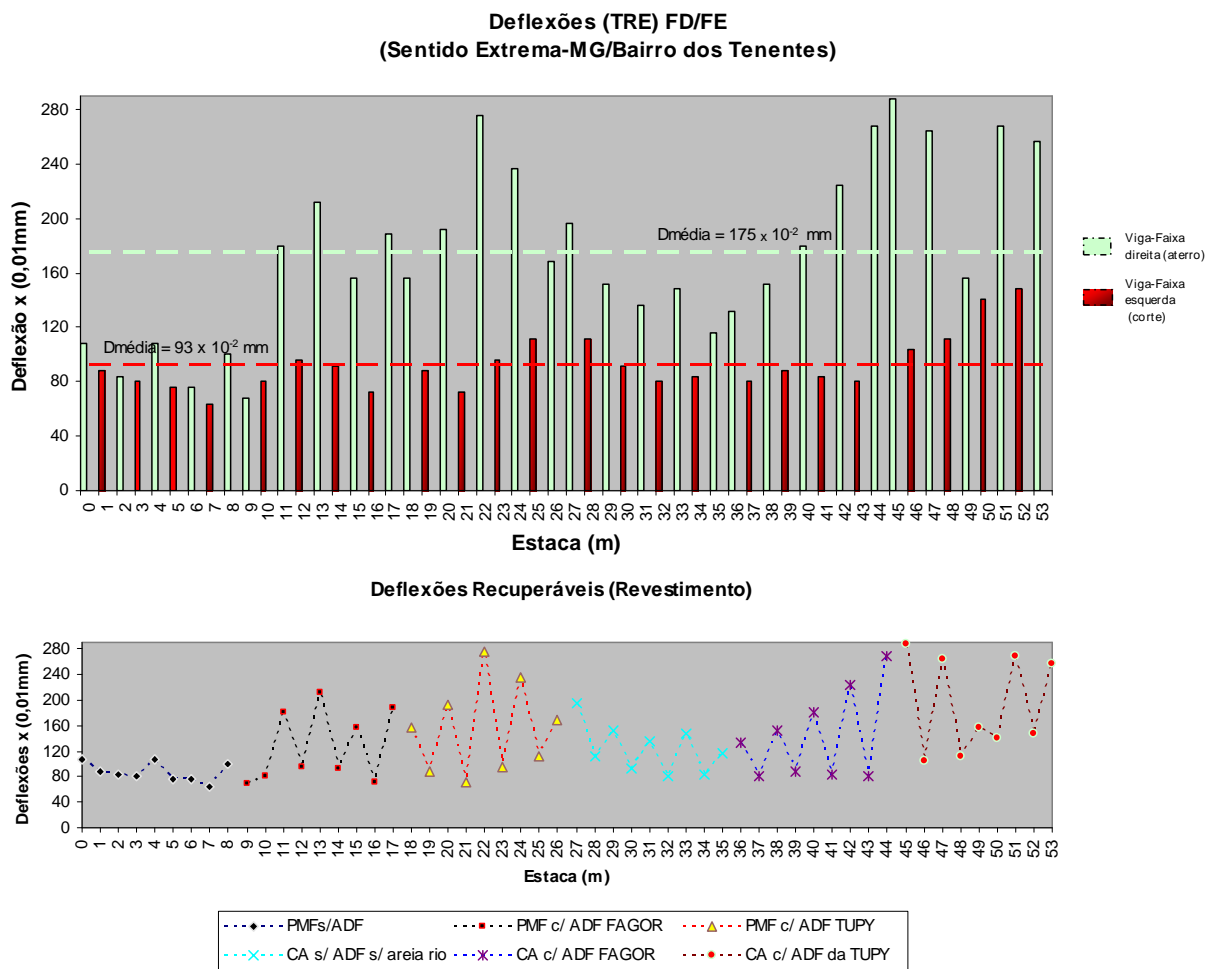


FIG. 4.16 Levantamento deflectométrico – Extrema - MG (após 120 dias)

Foi possível observar um aumento significativo nos valores de deflexão total do pavimento entre as medidas realizadas há 60 dias e aos 120 dias de abertura ao tráfego em cerca de 8 a 15% tal como observado nas FIG. 4.15 e FIG. 4.16, indicando um possível comprometimento estrutural das camadas do pavimento executado em virtude do aumento acelerado dos valores de deflexão. A partir dos dados deflectométrico levantados, os

segmentos foram separados para uma melhor avaliação, conforme ilustrado nas FIG 4.17, FIG. 4.19, FIG. 4.21, FIG. 4.23, FIG. 4.25 e FIG. 4.27.

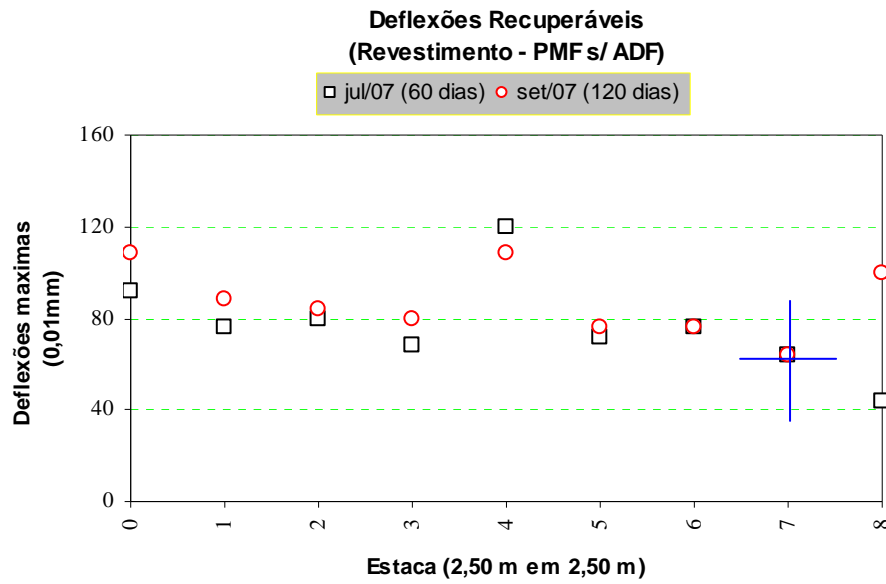


FIG. 4.17. Levantamento deflectométrico do Segmento de PMF s/ ADF – Extrema (MG)

TAB. 4.32 Bacia Deflexões medidas para PMF s/ ADF

Mês	n	Dmédia (10 ⁻² mm)	s	Cv (%)
Jul./07 (60 dias)	9	77	21	27
Set/07 (120 dias)	9	87	15	17

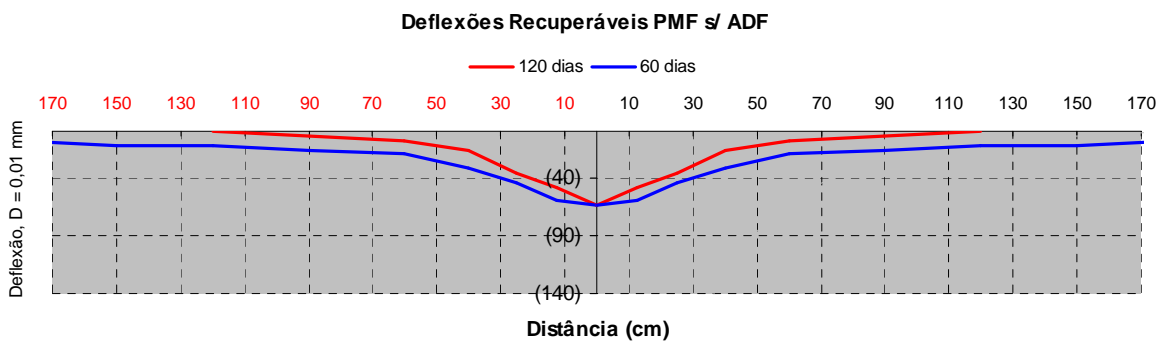


FIG. 4.18 Bacia de Deflexão medida na estaca n.º 7, Representativa – Extrema (MG)

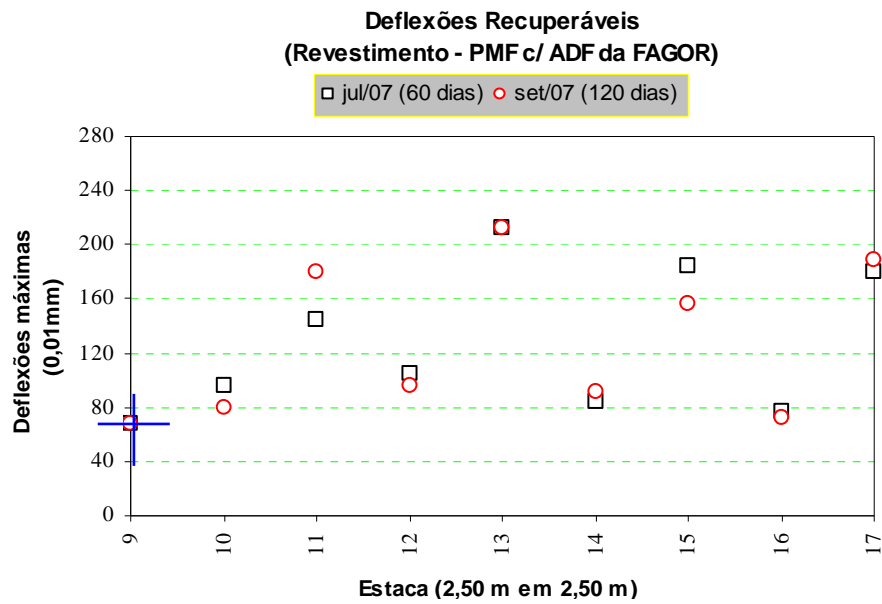


FIG. 4.19 Levantamento deflectométrico do Segmento de PMF c/ ADF da Fagor – Extrema (MG)

TAB. 4.33 Deflexões medidas para PMF c/ 10% ADF da FAGOR

Mês	n	Dmédia (10^{-2} mm)	s	Cv (%)
Jul./07 (60 dias)	9	128	54	42
Set/07 (120 dias)	9	127	56	44

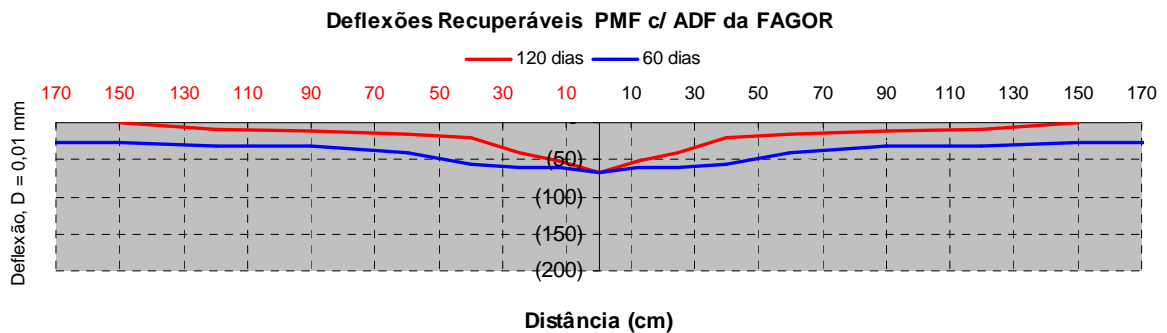


FIG. 4.20 Bacia de Deflexão medida na estaca n.º. 9, Representativa – Extrema (MG)

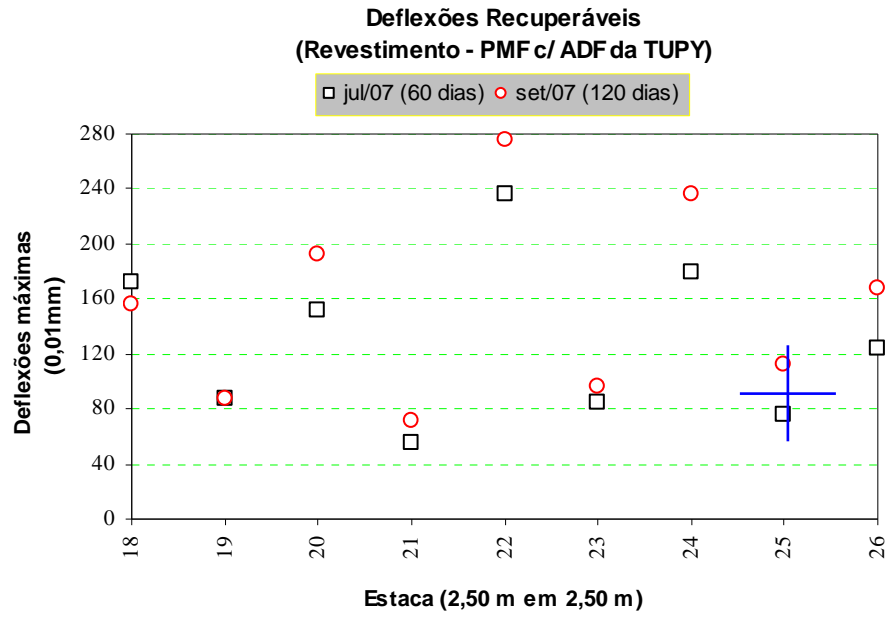


FIG. 4.21 Levantamento deflectométrico do segmento de PMF c/ ADF da TUPY – Extrema (MG)

TAB. 4.34 Deflexões medidas para PMF c/ 10% ADF da TUPY

Mês	n	Dmédia (10^{-2} mm)	s	Cv (%)
Jul./07 (60 dias)	9	130	60	46
Set/07 (120 dias)	9	155	70	45

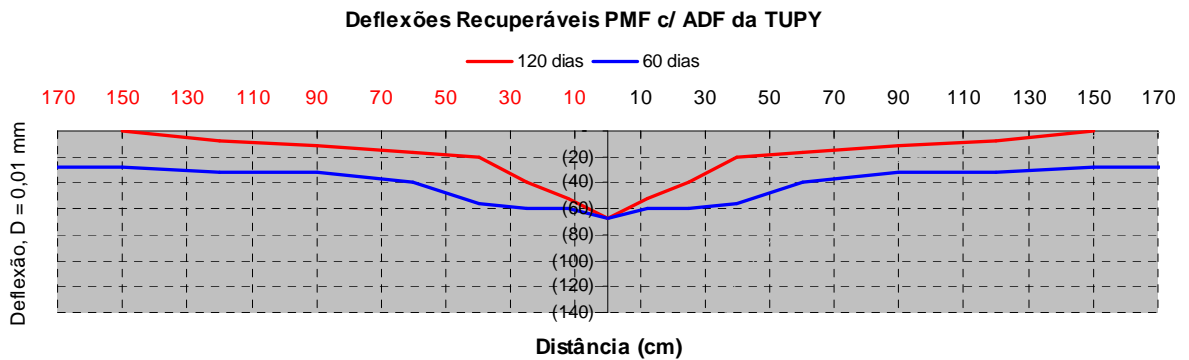


FIG. 4.22. Bacia de Deflexão medida na estaca n°. 25, Representativa – Extrema (MG)

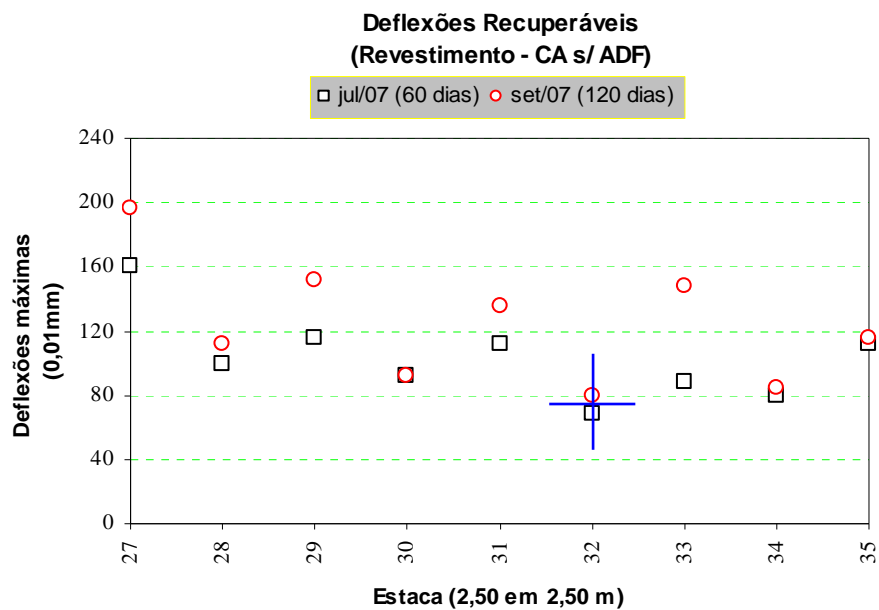


FIG. 4.23 Levantamento deflectométrico do segmento de CA s/ ADF Extrema - MG

TAB. 4.35 Deflexão média medida para CA s/ ADF

Mês	n	Dmédia (10^{-2} mm)	s	Cv (%)
Jul./07 (60 dias)	9	103	27	26
Set/07 (120 dias)	9	124	38	31

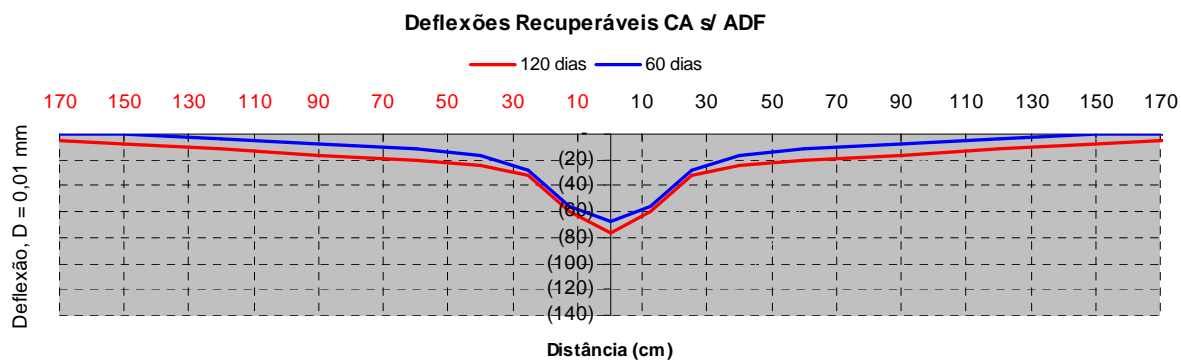


FIG. 4.24 Bacia de Deflexão medida na estaca n°. 32, no trecho experimental em Extrema (MG).

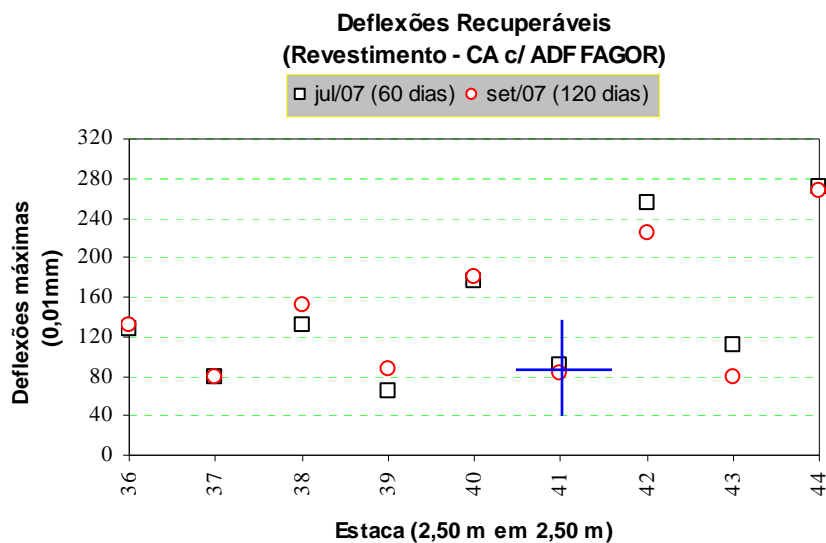


FIG. 4.25 Levantamento deflectométrico do segmento CA c/ ADF da FAGOR Extrema (MG)

TAB. 4.36 Deflexão média medida para CAUQ c/ 10% ADF da FAGOR

Mês	n	Dmédia (10^{-2} mm)	s	Cv (%)
Jul./07 (60 dias)	9	145	75	52
Set/07 (120 dias)	9	143	69	48

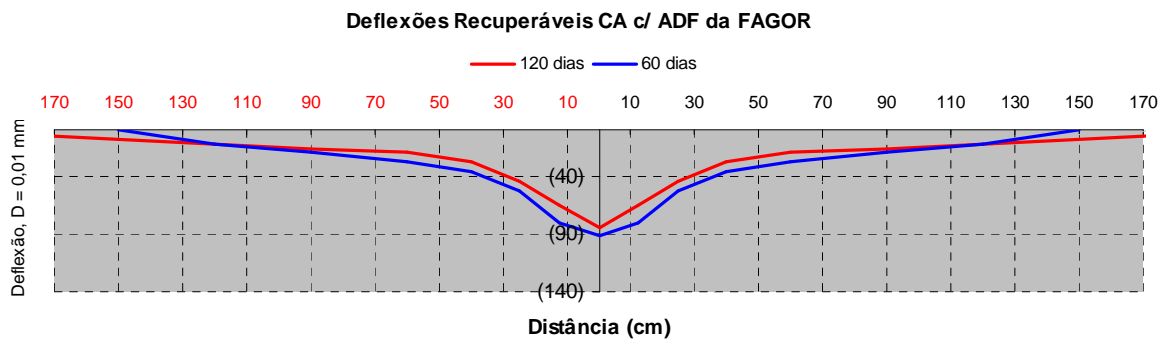


FIG. 4.26 Bacia de Deflexão medida na estaca n°. 41, no trecho experimental - Extrema (MG)

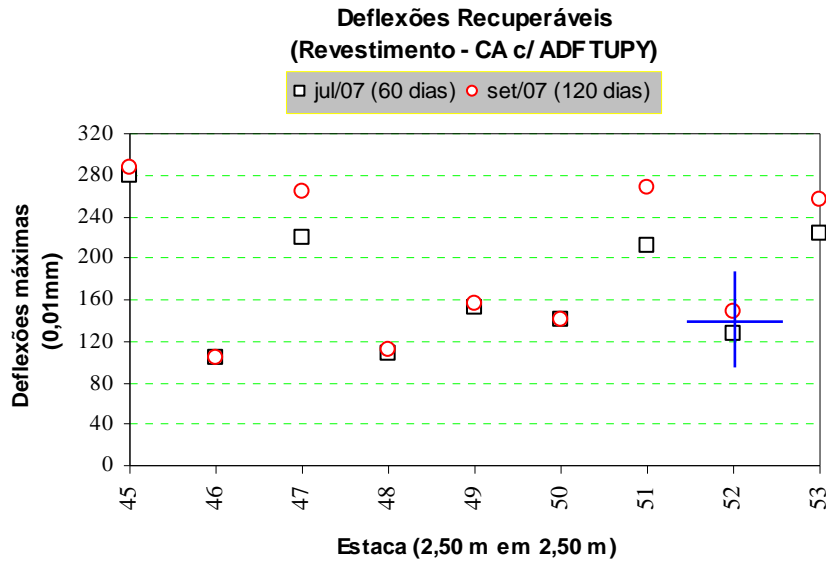


FIG. 4.27 Levantamento deflectométrico do segmento de CA c/ ADF da TUPT - Extrema (MG)

TAB. 4.37 Deflexões médias medidas no trecho de CA c/ ADF da TUPY

Mês	n	Dmédia (10^{-2} mm)	s	Cv (%)
Jul./07 (60 dias)	9	168	67	40
Set/07 (120 dias)	9	193	74	38

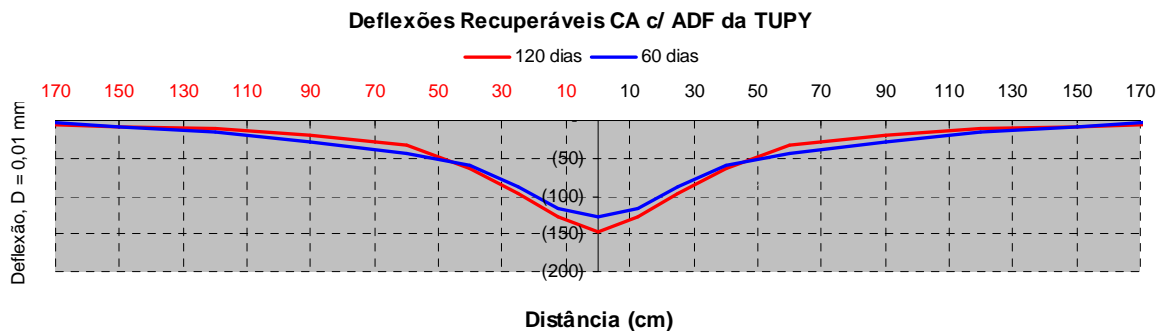


FIG. 4.28 Bacia de Deflexão medida na estaca n°. 52 –Trecho concreto asfáltico com ADF da Fagor em Extrema (MG)

De forma geral as deflexões recuperáveis medidas após 120 dias de abertura ao trafego foram bem superiores aquelas medidas há 60 dias, significando maior comprometimento elástico das camadas do pavimento e/ou do subleito para o trecho experimental executado, ou seja, após 120 dias o pavimento já se encontrava em fase de fadiga. Pode-se notar pela análise estatística para os 6 segmentos considerados isoladamente que os valores de coeficientes de variação estão entre 18 e 53% (valores muito dispersos). Para o levantamento das deflexões

somente o segmento em PMF s/ ADF apresentou deflexões médias abaixo da $D_{adm} = 88$ centésimos de milímetros, o que significa uma estrutura de pavimento executada de má qualidade, entrando-se em colapso com poucos dias de abertura ao tráfego.

4.2.5 MISTURAS ASFÁLTICAS RETIRADAS DA PISTA EXPERIMENTAL

Os corpos-de-prova dos segmentos de PMF e CA do trecho experimental foram extraídos por meio de sonda rotativa, de fôrma cilíndrica, com altura entre 3,50 cm a 6,50 cm e diâmetro de $10 \pm 0,2$ cm, conforme ilustra a FIG. 4.29.

Os corpos-de-prova extraídos do trecho experimental foram enviados para o IME/IPR para a realização dos ensaios de módulos de resiliência (MR) e resistência à tração (RT).



FIG. 4.29 Exemplo de extração dos corpos-de-prova da pista experimental

Nas TAB. 4.38 e TAB. 4.39, são apresentadas as médias dos Módulos de Resiliência (MR) e Resistência à Tração (RT) dos corpos-de-prova moldados em laboratório e dos corpos-de-prova extraídos do trecho experimental após 30 dias de abertura ao tráfego comercial. Pôde-se observar que os valores correspondentes aos corpos-de-prova das misturas do tipo concreto asfáltico dosadas no laboratório do IPR, mantiveram-se muito próximos daqueles obtidos para as misturas extraídas da pista experimental através de sonda rotativa.

TAB. 4.38 Resultado de MR e RT para CA retirados da pista experimental

Ensaio	TUPY		FAGOR		s/ ADF	
	c/ 10% ADF fabricado no IPR	c/ 10% Extraído da Pista	c/ 8% ADF fabricado no IPR	c/ 10% ADF Extraído da Pista	c/ 8% fabricado no IPR	s/ Areia Extraído da Pista
MR (MPa)	3987	-	3179	-	3840	-
RT (MPa)	0,92	-	0,95	-	0,99	-
MR após 30 dias (MPa)	-	4494	-	3575	-	3673
RT após 30 dias (MPa)	-	0,98	-	1,07	-	0,83



FIG. 4.30 Exemplo de Corpo-de-prova de CA extraído da pista experimental

TAB. 4.39 Resultado de MR e RT para PMF retiradas da pista experimental

Ensaio	TUPY		FAGOR		s/ ADF	
	c/ 10% ADF fabricado no IPR	c/ 10% Extraído da Pista	c/ 10% ADF fabricado no IPR	c/ 10% ADF Extraído da Pista	Fabricado na Pista	Extraído da Pista
MR (MPa)	2579	-	2214	-	936	-
RT (MPa)	0,32	-	0,29	-	0,19	-
MR após 30 dias (MPa)	-	3690	-	3143	-	1359
RT após 30 dias (MPa)	-	0,47	-	0,54	-	0,27



FIG. 4.31 Exemplo do Corpo-de-prova de PMF extraído da pista experimental um mês após a construção

Foram realizados ensaios de viscosidade absoluta a 60°C, ponto de amolecimento e penetração em amostras de cimento asfáltico de petróleo como parâmetro para obtenção do índice de envelhecimento daquelas amostras procedentes da pista experimental reaquecidas em comparação com o CAP puro e também aquelas fabricadas no IPR para verificação dos valores aumentados de Módulo de resiliência, resistência a tração e fadiga observados durante os ensaios mecânicos daquelas amostras reaquecidas.

O índice de envelhecimento de um cimento asfáltico é dado pela relação entre a viscosidade após o envelhecimento em cada instante (η_a) e a viscosidade original do ligante (η_0).

WHITEZAK, (1991) *apud*. TONIAL, (2001) apresenta um modelo, conforme FIG 4.32, que expressa valores típicos de envelhecimento do ligante asfáltico ao longo das fases de execução e serviço de um concreto asfáltico.

NEVES FILHO (2006) relata que o envelhecimento de um cimento asfáltico de petróleo pode ser definido como o processo pelo qual as características químicas e reológicas do ligante se modificam, resultando em aumento de sua consistência. Fatores como a temperatura e grau de exposição do ligante ao oxigênio do ar influenciam fortemente o envelhecimento do ligante.

Na presente pesquisa, buscou-se verificar a influência no comportamento mecânico de corpos-de-prova moldados na pista experimental reaquecidos em laboratório na mesma temperatura de compactação de campo. Ficou constatado que não é conveniente reaquecer misturas do tipo concreto asfáltico para moldar corpos-de-prova para determinação de parâmetros elásticos.

Foram realizadas extrações em cimento asfáltico de petróleo em corpos-de-prova para a verificação do grau de envelhecimento sofrido por essas amostras confeccionadas em laboratório do IPR nos procedimentos de mistura e compactação, conforme apresentado na TAB. 4.40.

Adicionalmente, verificou-se o grau de envelhecimento do ligante extraído de corpos-de-prova provenientes da pista experimental em Extrema - MG para as misturas tipo concreto asfáltico e pré-misturado a frio.

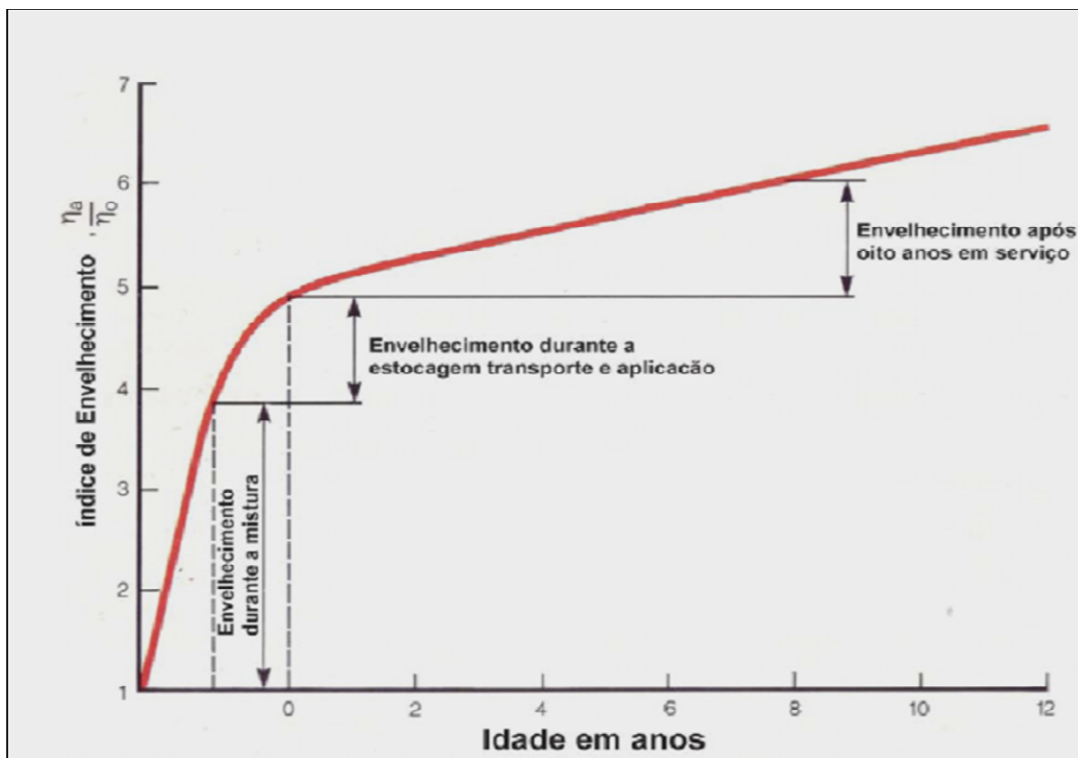


FIG. 4.32 Envelhecimento do ligante na preparação, usinagem, transporte na execução e em serviço.

Fonte: WHITEZAK (1991)

Da análise da FIG. 4.32, infere-se que a maior parcela do envelhecimento ocorre nas fases de mistura entre o ligante e o agregado e na aplicação do concreto asfáltico na pista.

Na TAB. 4.41, constam os valores do índice de envelhecimento obtidos pela relação entre os valores de viscosidade da amostra para cada situação de envelhecimento e de viscosidade original, ou seja, para os corpos-de-prova confeccionados em laboratório e provenientes da pista experimental.

TAB. 4.40 Resultado do grau de envelhecimento do ligante betuminoso

Origem CPs	Mistura	Índices	Ensaios		
			Viscosidade Absoluta 60°C (poises)	Pto. Amolecimento	Penetração (0,1mm)
Fabricados no IPR	CA c/ ADF Tupy CA c/ ADF Fagor CA s/ ADF	η_{iprca}	3707	51	35
Moldados na Pista Experimental	CA c/ ADF Tupy CA c/ ADF Fagor CA s/ ADF	η_{pca}	13989	62	12
Moldados na Pista Experimental	PMF c/ ADF Tupy PMF c/ ADF Tupy PMF c/ ADF Tupy	η_{ppmf}	3856	52	34
Laboratório IPR	CAP virgem	η_0	1768	48	54
Laboratório IPR	Após RTFOT	η_r	3860	57	16

TAB. 4.41 Resultado do índice de envelhecimento

Viscosidade Absoluta 60° C			
η_{pca}/η_{iprca}	η_{pca}/η_0	η_{iprca}/η_0	η_{ppmf}/η_0
3,77	7,91	2,09	2,18

Os resultados de viscosidade de η_0 - viscosidade absoluta a 60°C da amostra virgem; η_r - viscosidade absoluta a 60°C da amostra após RTFOT; η_{iprca} - viscosidade absoluta a 60°C da amostra extraída de corpos-de-prova de concreto asfáltico fabricadas no IPR.; η_{pca} - viscosidade absoluta a 60°C da amostra extraída de corpos-de-prova de concreto asfáltico procedentes da pista experimental; η_{ppmf} - viscosidade absoluta a 60°C da amostra extraída de corpos-de-prova de pré-misturados a frio procedentes da pista experimental mostrados nas TAB. 4.40 indicaram que o envelhecimento do ligante asfáltico para as amostras de concreto asfáltico decorrido da mistura e compactação de corpos-de-prova provenientes da pista experimental foi bem superior ao ocorrido naqueles fabricadas no laboratório do IPR. O índice de envelhecimento obtido para os corpos-de-prova de concreto asfáltico procedentes da pista experimental (η_{pca}/η_0) foi 73% superior ao índice obtido para as amostras de concreto asfáltico fabricadas no laboratório (η_{iprca}/η_0), conforme apresentado na TAB. 4.41.

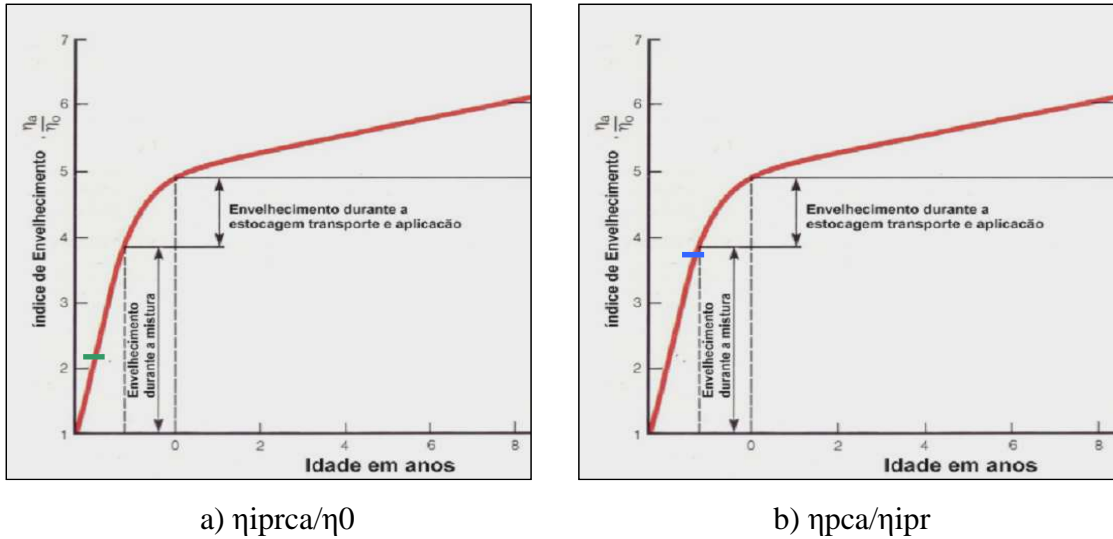


FIG. 4.33 Índices de envelhecimento deste estudo

4.2.6 RETROANÁLISE

Em um sistema estratificado, composto por n camadas elásticas, atribuindo-se valores aos módulos de elasticidade e aos coeficientes de Poisson das camadas individuais, de espessuras conhecidas e, submetendo-o a um determinado carregamento na superfície, resulta uma bacia de deflexões. Existem vários programas de computador que executam estes cálculos, dentre eles, pode-se citar: FEPAVE (DUNCAN *et al.*, 1968), ELSYM 5 (QUEIROZ *et al.*), ELASTMCF (RODRIGUES, 1991) BISAR (JONG *et al.*, 1973), CHEVRON (LYTTON, 1989), ILLIPAVE (FIGUEROA e THOMPSON, 1980), etc. Estes programas, devidamente adaptados, permitem que se faça o processo inverso. A partir do conhecimento das espessuras das camadas e da deformabilidade da superfície para a condição de solicitação imposta, obtém-se por retroanálise, os módulos de elasticidade in-situ das camadas do pavimento. Os resultados assim obtidos representam os módulos dos materiais na condição de campo: estado de tensões, temperatura, umidade, densidade, espessura e posição de cada camada na estrutura.

A medição dos módulos das camadas *in situ* a partir das deflexões medidas foram realizadas utilizando programas computacionais (FEPAVE2 e ELSYM 5). As deflexões superficiais medidas a diferentes distâncias do ponto de aplicação da carga foram comparadas com as deflexões teóricas (calculadas) a partir dos dados de entrada do processo: a configuração do carregamento, a bacia deflectométrica, seção tipo do pavimento, coeficiente de poisson e a faixa dos valores modulares para cada camada da estrutura adotada. Esta

especificação foi feita considerando-se uma determinada combinação de módulos das camadas de modo a fazer coincidirem a bacia teórica (calculada) e a bacia de campo determinada.

4.2.6.1 ANÁLISE UTILIZANDO ELSYM 5

Desenvolvido no Instituto de Transportes e Engenharia de Tráfego da Universidade da Califórnia (Berkeley), o programa calcula as tensões, as deformações e os deslocamentos para um sistema de camadas elásticas, tridimensional, pode aceitar um total de cinco camadas. Não permite análises não-lineares, obrigando o projetista a selecionar seu conjunto de valores modulares com critério, de forma a procurar contornar a questão da não linearidade sem a introdução de erros na análise.

No ELSYM5 trabalha-se até com 10 (dez) cargas de mesmo valor e mesma pressão de inflação, tornando o programa bastante apropriado para análise do efeito compostos por rodas múltiplas. Possui trens tipos de entradas principais: (1) variáveis de caracterização do material ou da camada, (2) variáveis do carregamento e (3) informações das coordenadas do sistema.

Como ponto de partida para a análise, adota-se valores “sementes” para o módulo (E) da camada betuminosa e granular. Para que a simulação seja possível é preciso definir as espessuras das camadas constituintes bem como quais são os materiais, após, por processo iterativo, faz o ajuste entre a bacia de deformação calculada e a bacia de deformação medida, conforme ilustra as FIG. 4.34, FIG. 4.35 e FIG. 4.36.

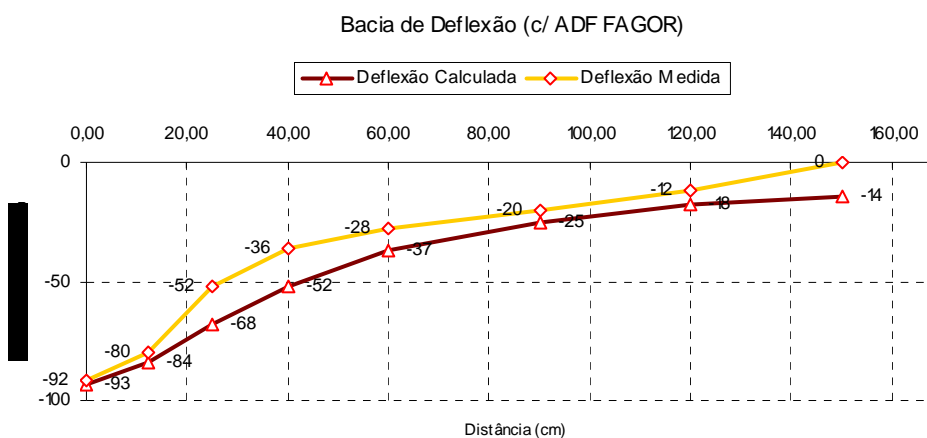


FIG. 4.34 Comparação entre a Bacia de deslocamento medida e calculada pela retroanálise c/ ADF da FAGOR

TAB. 4.42 Resultado da simulação com o ELSYM 5 – CA c/ 10% ADF FAGOR

Módulos obtidos por retro análises		
Revestimento	Base	Subleito
Capa (Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)
35000	2500	500

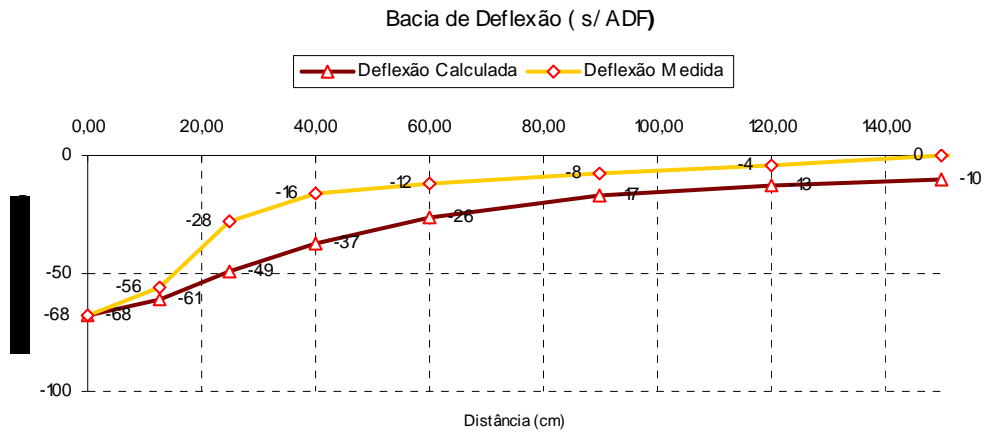


FIG. 4.35 Comparação da bacia de deslocamento após retroanálise s/ ADF

TAB. 4.43 Resultado da retroanálise com o ELSYM 5 s/ ADF

Módulos obtidos por retro análises		
Revestimento	Base	Subleito
Capa (Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)
60000	3000	700

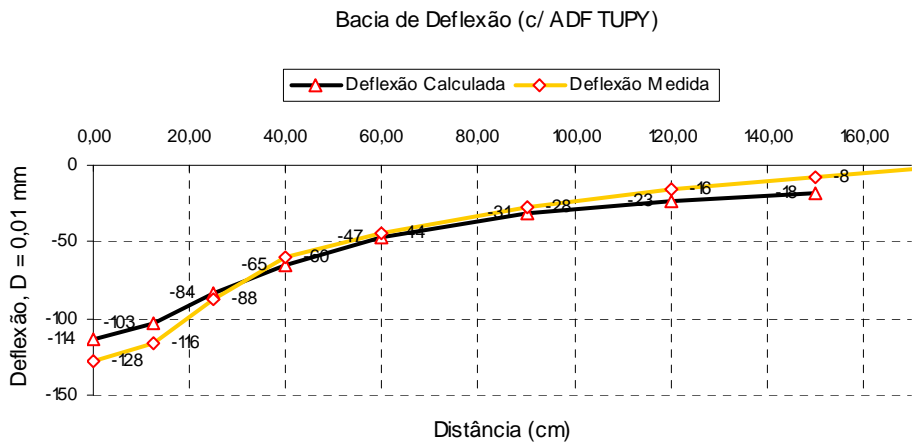


FIG. 4.36 Bacia de deslocamento após retroanálise c/ ADF da TUPY

TAB. 4.44 Resultado apresentado com o ELSYM 5, CA a 10% ADF TUPY

Módulos obtidos por retro análises		
Revestimento	Base	Subleito
Capa (Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)	(Kgf/cm ²)
35000	2000	400

Analisado os resultados apresentados nas TAB. 4.42 e TAB. 4.44, pode-se observar que a simulação realizada com o ELSYM 5 a partir dos resultados de laboratório mostrou coerência entre os módulos da camada de revestimento obtido por retroanálise para a temperatura padrão de 25° C, ou seja, os módulos do CA com ADF da TUPY e do CA com ADF da FAGOR apresentaram valores próximos aos obtidos em laboratório. A retroanálise dos módulos de resiliência foi realizada considerando a estrutura constituída de três camadas e os dados de entrada a seguir:

- Raio da área de carregamento: 10,79 cm
- Pressão na área de carregamento: 5,63 Kgf/cm²
- Espessura das camadas: determinadas a partir da alternativa estabelecida.
- Módulo de resiliência: os valores de MR foram também os descritos anteriormente,
- Coeficiente de Poisson: foram assumidos os seguintes valores: 0,25; 0,35 e 0,40 para as camadas de revestimento, base e subleito respectivamente.

4.2.6.2 Análise utilizando o modelo de Hogg

Utilizando o modelo de Hogg, foi possível examinar as bacias de Deformação calculadas e retro analisadas para as diferentes misturas no trecho experimental, possibilitando o estabelecimento das seguintes funções:

$$\text{Log}E_{SL} = f(\text{log} Rd_0, \text{log} d_0)$$

$$H_{EQ} = f(Rd_0)$$

A formulação estabelecida mostrada a seguir permite o cálculo dos parâmetros de pavimento equivalente e o pavimento real em todos os locais em que foram medidas as deflexões d_0 e d_{25} .

$$\text{Log}E_{SL} = \frac{16280 - (\log Rd_0 + 2639 \log d_0)}{2,708}$$

$$H_{EQ} = (Rd_0 + 5163) \div 685$$

$$E_{EQ} = 6,18E_{SL}$$

$$ISC = \frac{E_{SL}}{70}$$

ESL= Módulo de deformação do subleito em Kgf/cm²

HEQ = Espessura do pavimento equivalente em cm

ISC = Índice Suporte Califórnia

d0 = Deflexão medida em mm x 10⁻²

R = Raio de Curvatura em m

Utilizando o programa ELSYM 5 já bastante conhecido entre os nossos projetistas foi feita uma comprovação desta metodologia simplificada da seguinte maneira:

De acordo com as medidas de d₀, d₂₅, cálculo de R e do produto Rd₀ nas estações locadas em pavimentos existentes foram calculados os seguintes parâmetros do pavimento equivalente de acordo com o ábaco e as fórmulas:

ESL= Módulo de deformação do subleito em Kgf/cm²

EEQ = Módulo de deformação do pavimento equivalente em Kgf/cm²

HEQ = Espessura do pavimento equivalente em cm

HEQx10 = Espessura do Subleito em cima da camada rígida

Os parâmetros obtidos foram usados para alimentar o programa ELSYM 5 para o cálculo das deflexões correspondentes a d'₀ e d'₂₅, conforme apresentado na TAB. 4.45.

TAB. 4.45 Resultado da simulação com o ELSYM 5 c/ o uso do modelo de Hogg

VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA ATRAVÉS DO PROGRAMA ELSYM 5													
Rodovia	Est. ou Km	Deflexões de		Parâmetros do Pavim. Equiv. calculado por Retro Análise						Dados Gerados ELSYM 5			
		d ₀	d ₂₅	R m	R/d0	Rd ₀	E _{SL} kgf/cm ²	E _{EQ} kgf/cm ²	H _{EQ} cm	Deflexões		Análise	
										d' ₀	d' ₂₅	d ₀ /d' ₀	d ₂₅ /d' ₂₅
BR-290/RS	108	62	43	164	2,6452	10197	609	3766	22	64	46	0,97	0,93
BR-290/RS	108	70	57	240	3,4286	16827	450	2781	32	71	54	0,99	1,06
BR-290/RS	108	46	38	391	8,5	17969	661	4086	34	47	36	0,98	1,06
BR-290/RS	108	75	61	223	2,9733	16741	421	2605	32	76	58	0,99	1,05
BR-290/RS	108	82	68	223	2,7195	18304	374	2310	34	83	63	0,99	1,08
BR-290/RS	108	93	77	195	2,0968	18164	332	2050	34	93	71	1	1,08
BR-290/RS	108	88	66	142	1,6136	12500	402	2483	26	89	67	0,99	0,99
BR-101/RJ	81	120	94	120	1	14423	282	1741	29	119	91	1,01	1,03
BR-101/RJ	74	56	34	142	2,5357	7955	738	4558	19	57	39	0,98	0,87
BR-101/RJ	82	108	72	87	0,8056	9375	366	2262	21	110	78	0,98	0,92
BR-101/RJ	90	40	24	195	4,875	7813	1031	6369	19	41	28	0,98	0,86
BR-101/RJ	98	98	64	92	0,9388	9007	408	2523	21	98	70	1	0,91
BR-101/RJ	76	74	50	130	1,7568	9635	524	3236	22	75	54	0,99	0,93
BR-101/RJ	84	92	70	142	1,5435	13068	378	2339	27	93	70	0,99	1
BR-101/RJ	96	134	90	71	0,5299	9517	295	1823	21	136	96	0,99	0,94
BR-101/RJ	45	28	22	521	18,607	14583	1159	7160	29	29	22	0,97	1
BR-101/RJ	57	36	26	313	8,6944	11250	998	6168	24	37	28	0,97	0,93
BR-101/RJ	421	44	36	391	8,8864	17188	702	4338	33	45	34	0,98	1,06
Análise estatística - Dispersões observadas entre d ₀ e d ₂₅ medidos no campo e entre d' ₀ e d' ₂₅ calculados pelo programa ELSYM 5 através dos dados da retroanálise realizada.										nº valores	18	18	
										Média X	0,98	0,98	
										D. Padrão σ	0,01	0,07	
										Coef. Var. CV	0,01	0,07	

Fonte: FABRÍCIO (1994)

O quadro de análise apresentado a seguir com resultados de medidas de deflexão em uma faixa de valores, mostra os resultados da comprovação realizada, podendo-se notar que pela análise estatística mostrada os coeficientes de variação observados correspondentes aos resultados de $(d_0 \div d'_0)$ e $(d_{25} \div d'_{25})$ são menores do que 15%, conforme apresentado na TAB. 4.46.

TAB. 4.46 Resultado da simulação com o ELSYM 5 c/ uso do modelo de Hogg para o trecho experimental

VERIFICAÇÃO DA METODOLOGIA ATRAVÉS DO PROGRAMA ELSYM 5													
Tipo Mistura (CA)	Est. ou Km	Deflexões de		Parâmetros do Pavim. Equiv. calculado por Retro Análise						Dados Gerados ELSYM 5			
		d ₀	d ₂₅	R m	R/d0	Rd ₀	E _{SL} kgf/cm ²	E _{EQ} kgf/cm ²	H _{EQ} cm	Deflexões		Análise	
										d' ₀	d' ₂₅	d ₀ /d' ₀	d ₂₅ /d' ₂₅
ADF FAGOR	41	92	52	78	0,84783	7176	472	2917	18	92	61	1	0,85
ADF TUPY	52	128	88	78	0,60938	9984	303	1873	22	129	93	0,99	0,95
s/ ADF	32	68	28	78	1,14706	5304	709	4382	15	66	40	1,03	0,7
Análise estatística - Dispersões observadas entre d ₀ e d ₂₅ medidos no campo e entre d' ₀ e d' ₂₅ calculados pelo programa ELSYM 5 através dos dados da retroanálise realizada.										nº valores	3	3	
										Média X	1,01	0,83	
										D. Padrão σ	0,02	0,12	
										Coef. Var. CV	0,02	0,15	

RELAÇÃO d'_0 x d_0

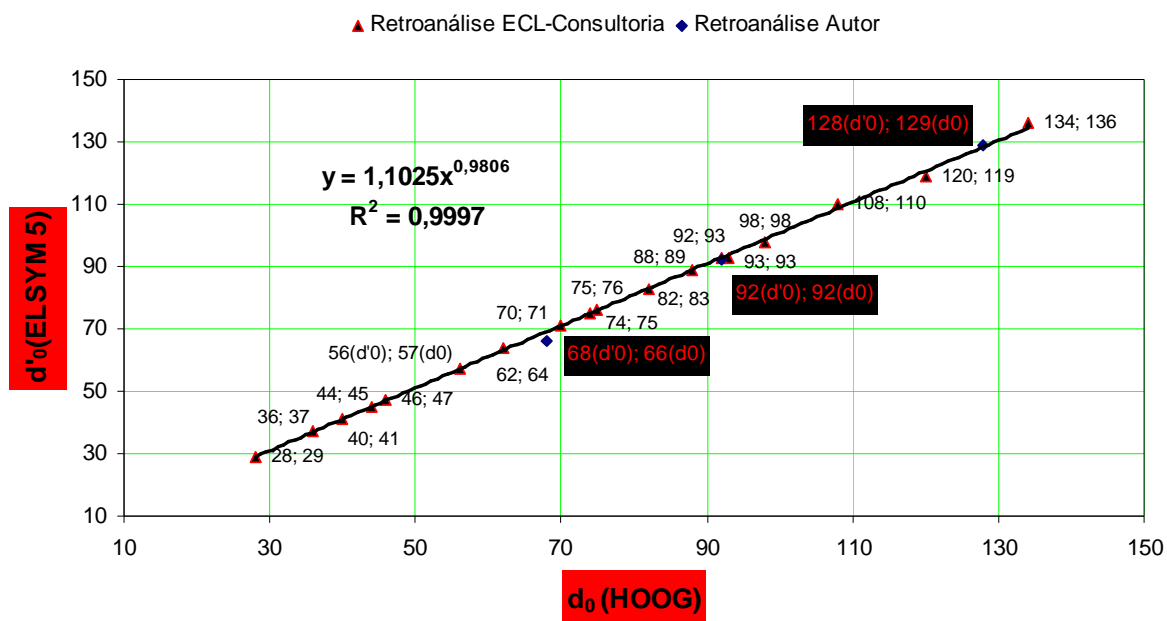


FIG. 4.37 Comparação dos valores retroanalizados

BELISÁRIO, LEGE e AUTRET (1972) *apud*. SALINI (1999) apresentam para pavimentos flexíveis com base estabilizada granulometricamente, os parâmetros de avaliação, apresentados na TAB. 4.47.

TAB. 4.47 Correlação do produto Rd_0

Rd_0	Conceito de pavimento
> 5500	Pavimento bom
< 5500	Pavimento ruim

Onde:

R – Raio da bacia de deformação, em metros

d_0 – Deflexão máxima vertical, em 10^{-2} mm.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo, expõem-se as conclusões e sugestões fundamentadas nos resultados, análises e explicações apresentadas no capítulo 4. A avaliação da incorporação da ADF's em misturas asfálticas foi fundamentada em ensaios ambientais e mecânicos de interesse da pavimentação rodoviária, que se baseou nos resultados dos ensaios de dosagem Marshall, módulo de resiliência, vida de fadiga e resistência a tração por compressão diametral. A apreciação ambiental fundamentou-se nos ensaios de lixiviação e solubilização dos produtos puros e em corpos-de-prova e da água percolada realizado nos vários segmentos do trecho experimental.

5.1 AVALIAÇÃO DO RISCO AMBIENTAL

Os teores de sódio, alumínio e sulfato, no resíduo areia verde de fundição – RAVF excedem os valores máximos permitidos. Na preparação da areia de moldagem é utilizada água de abastecimento público, sendo que esta água é tratada por sulfato de alumínio, hidróxido de cálcio, fluorsilicato de sódio e policrilamida.

Os teores originais destes parâmetros na água de abastecimento não são elevados, entretanto, estas substâncias acumulam-se na AVF, pois no processo de preparação da AVF adiciona-se água continuamente, porém quando ocorre o vazamento do ferro líquido na caixa de moldagem esta água é evaporada, mas estas substâncias permanecem. Com o tempo há um aumento da concentração destes parâmetros, atingindo os patamares encontrados em um processo semelhante ao da salinização de solos irrigados com água potável. Os parâmetros ferro e manganês no RAVF são provenientes da matéria-prima utilizadas na preparação da AVF e também da água de abastecimento público.

As matérias-primas da areia verde de fundição como bentonita natural e ativada e o pó de carvão, assim como a areia convencional de pavimentação, todas de origem mineral, caso fossem consideradas como resíduos sólidos, seriam classificadas como Não Inertes pela norma ABNT NBR 10.004.

As análises químicas realizadas em amostras não compactadas de massa asfáltica, contendo 8% e 10% de ADF, caracterizaram esse material como resíduo Classe II – Inerte.

Os rejeitos de areia de fundição da Tupy e Fagor incorporados às misturas asfálticas fabricadas no IPR, quando submetido aos ensaios estabelecidos no Procedimento de

Gerenciamento de Areia de Fundição da CETESB N° 152/2007, atendeu todos os requisitos exigidos, podendo-se utiliza-los em misturas asfálticas do tipo concreto asfáltico (CA).

As análises ambientais da água percolada obtido da pista experimental não foram significativas, visto que há interferência de vários fatores, como por exemplo, poeira, água da chuva, arraste de materiais dos carros que trafegam sobre o pavimento.

5.2 AVALIAÇÃO MECÂNICA

Foram apresentadas características mecânicas, obtidas através dos ensaios fundamentais da mecânica dos pavimentos de misturas asfálticas com incorporação de ADFs executada no estado de Minas Gerais no ano de 2007. Desde estudo conclui-se que:

1. Da dosagem Marshall, pôde-se concluir que todas as misturas no teor de projeto de asfalto apresentaram parâmetros Marshall que satisfazem os requisitos das especificações rodoviárias vigentes.
2. As misturas com ADF requereram menores consumos de asfalto que a mistura de referência, considerando as porcentagens de areia (nessa pesquisa 8% ADF e 8% Areia convencional), e que misturas com areia convencional, embora com maiores teores de asfalto, apresentaram quase todos os parâmetros Marshall ligeiramente mais favoráveis. Entretanto, vale ressaltar que as diferenças nos teores de asfalto das duas misturas (8% ADF e 8% areia convencional) não foram estatisticamente significantes. Portanto, as misturas asfálticas com ADF apresentaram propriedades adequadas para capa de rolamento no que diz respeito aos parâmetros obtidos nas especificações do DNIT.
3. Os ensaios Marshall, Resistência à tração e Módulo de Resiliência feitos em laboratório e no trecho experimental demonstraram que o rejeito de areia verde de fundição podem ser incorporado em misturas asfálticas, substituindo o agregado fino (atendendo à faixa C do DNIT), sem causar prejuízos à qualidade estrutural do pavimento e até, em alguns aspectos, melhorando o seu desempenho em relação aos agregados convencionais.
4. Mostrou-se que as misturas asfálticas do tipo concreto asfáltico (CA), retirada da pista após 30 dias de abertura ao tráfego extraídas por sonda rotativa e aquelas fabricadas no e/ou moldadas em laboratório (IPR), apresentaram valores de módulo de resiliência e resistência a tração compatíveis entre si.

5. Os resultados dos ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral mostraram que, aparentemente, quanto maior o teor de areia menor a resistência à tração das misturas no teor de projeto de asfalto. Desta maneira, os resultados apresentados tiveram comportamentos mecânicos similares aos encontrados na literatura nacional para misturas a quente usando areia comum.

6. Com relação à retroanálise utilizando o produto Rd_0 (modelo de Hoog), sugere-se a razão R/d_0 como forma de aumentar a sensibilidade dos valores resultantes da análise pois, considera-se que para pavimentos robustos os raios de curvatura sejam superiores a 150 m e a deflexão máxima seja abaixo de 60 centésimos de milímetro. Enquanto que para estruturas de pavimentos com deficiência estrutural o produto Rd_0 não é adequado. Sugere-se ainda, com base de dados da empresa ECL consultoria e verificações de campo, que a razão $R/d_0 > 2,6$ seja considerada como valor limítrofe indicativo de pavimentos que apresentam bom comportamento estrutural.

7. Pode-se analisar que as deflexões medidas após 120 dias de abertura ao tráfego no trecho experimental, apresentaram-se maiores em relação aquelas levantadas aos 60 dias, possivelmente ocasionado por excessos de umidade das camadas, má compactação ou presença de solos saturados nas camadas subjacentes (subleito).

8. Mostrou-se, no caso da construção do trecho experimental em Extrema-MG, que os levantamentos defletoométricos *in situ* para as misturas do tipo PMF não tiveram boa correlação. Visto que ocorreu interferência de alguns fatores, como por exemplo a deficiência do controle tecnológico durante a execução do segmento teste e o aparecimento de patologias no pavimento como o excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento (exsudação) durante a compactação da mistura.

As práticas de construção adotadas pela Prefeitura Municipal de Extrema e a ausência de controle tecnológico na execução do trecho experimental, não recomendam o uso das ADFs em pavimentação.

5.3 CONCLUSÃO GERAL (RESUMO)

Embasado nos resultados obtidos, pode-se concluir que o reaproveitamento de ADF como parte do agregado fino incorporado em misturas asfálticas é viável, tanto do ponto de vista ambiental quanto no que diz respeito às propriedades mecânicas de interesse à engenharia de pavimentação. Essa afirmação pode ser feita, visto que as misturas asfálticas

com incorporação de 8% e 10%, apresentaram comportamento mecânicos similares aos encontrados na literatura convencional para as misturas a quente usando areia convencional .

A areia descartada de fundição (ADF) do tipo areia verde objeto desta pesquisa apresenta possibilidade de uso em revestimentos asfálticos. Porém a metodologia de dosagem deve ser compatibilizada para torna-se adequada diante da natureza do rejeito.

Com base nos resultados obtidos, fazem-se as seguintes recomendações para pesquisas futuras:

- Avaliar a adição das ADFs na composição de material para base, sub-base e reforço do subleito, misturando-o aos materiais utilizados habitualmente na região de estudo;
- Propor aos órgãos federais um procedimento de projeto de misturas asfálticas utilizando ADFs como agregado fino
- Avaliar a adição do rejeito de areia verde de fundição como agregado total e/ou parcial em misturas asfálticas do tipo areia-asfalto;
- Estudar misturas do tipo pré-misturado a frio (PMF) em laboratório incorporando ADFs como agregado fino para avaliação dos parâmetros mecânicos.

6 BIBLIOGRAFIA

- ABNT NBR 10.004. **Resíduos Sólidos – Classificação**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p.33, 1987 a.
- ABNT NBR 10.005. **Lixiviação de Resíduos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p.10, 1987 b.
- ABNT NBR 10.006. **Solubilização de Resíduos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p.2, 1987 c.
- ABNT NBR 10.007. **Amostragem de Resíduos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p.25, 1987 d.
- ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 7216 **Amostragem de Agregado – Método** : sem data.
- ABIFA. (2007). Capturado em http://www.abifa.com.br/indices_de_mercado.php.abril/2007.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Standard Method of Test, **Sampling Bituminous Paving Mixtures**. AASHTO Designation: T168-82, Part II Tests, 14th Edition, 1986.
- BENEVIDES, S. A. S. **Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos: Empírico do DNER e da Resiliência da COPPE/UFRJ em Rodovias do Estado do Ceará**. Rio de Janeiro, 2000.
- BINA, Paulo. **Metodologia de utilização de rejeitos industriais na pavimentação: estudo de caso de uso de areia de fundição**. Mestrado Profissional em Habitação (Instituto de Pesquisas Tecnológicas). São Paulo -SP, 2002.
- BINA, P.; CASTRO, P.R.F. de; ALVES, J.H. (2003). **Utilização de areia de fundição descartada na pavimentação: como aprovar e transformar resíduo em faturamento**. 34ª reunião anual de pavimentação – Campinas/SP
- BONET, IVAN IDERALDO. **Valorização do resíduo areia de fundição (RAF). Incorporação nas massas asfálticas do tipo CBUQ**. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia. Florianópolis, agosto de 2002.
- BONIN, A.L.; MARIOTTO, C.L.; BARTH, F. **Regeneração de areias: Relatório de visitas a usuários de sistemas de regeneração de areias de fundição**. ABIFA, 1997.
- BONIN, A.L.; ROSSINI, A.J.; ZABIM, A.F.P. **Reutilização da areia preta de fundição na construção civil**. ABIFA, 1995.

- CARNIN, Raquel Luísa Pereira. **Reaproveitamento do Resíduo Areia Verde de Fundição em Misturas Asfálticas**. Relatório de Qualificação em Química. Universidade Federal do Paraná. Departamento de Química. Curitiba, 2007. 50 páginas.
- CASTELO BRANCO, Verônica Teixeira Franco. **Caracterização de Misturas Asfálticas Com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado**. [Rio de Janeiro] 2004 XVIII, 135 p, 2004. (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil)
- CASTRO, LUCIANA NOGUEIRA DE. **Reciclagem à Frio "in situ" com Espuma de Asfalto**. Tese de Mestrado. COPPE/UFRJ [Rio de Janeiro] 2003.
- CARNIN, Raquel Luísa Pereira. **Relatório de atividades de doutoramento da Universidade Federal do Paraná**. 2005, 198 pág.
- CIESIELSKI, S. K.; COLLINS, R. J. **Recycling and Use of Waste Materials and Byproducts in Highway Construction. National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice**. 199p. Transportation Research Board. Washington, 1994.
- COUTINHO NETO, Benedito. **Avaliação do reaproveitamento de areia de fundição como agregado em misturas asfálticas densas**. 304 p. Tese (doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- DEMIRBAS Ayhan, KOYUNCU Hakan and. **An investigation of waste foundry sand in asphalt concrete mixtures**, 2006; 24; 269. Waste Management Research.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 024/94 Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman**. Rio de Janeiro, 1994.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM., **DNER-ME 043/95 Misturas betuminosas à quente – Ensaio Marshall**. Rio de Janeiro, 1995.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ES – 031/2006 Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico**. Rio de Janeiro, 2006.
- DNER (1997) PRO 120 – Coleta de Amostras de Agregados**. Rio de Janeiro.
- DNER (1996) PRO 199 – **Redução de Amostras de Campo de Agregados para ensaio de laboratório**. Rio de Janeiro.
- DNER (1998) ME 083 – **Agregados – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro.
- DNER (1994a) ME 138 – **Misturas Betuminosas – Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.

- FABRÍCIO, J.M., SILVA, G.A., GONÇALVES, E.A., et. al. (1994). **Método Simplificado de Retroanálise em Pavimentos Flexíveis**. In: 28a Reunião Anual de Pavimentação. V. 1, pp. 658-682, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction**. U.S. Department of Transportation. FHWA – RD-97-148. Washington, 1998.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Foundry Sand Facts for Civil Engineers**. Washington, DC 2004.
- FERREIRA, A. B. H. **Aurélio Século XXI, O Dicionário da Língua Portuguesa**. 3. ed. Curitiba: Positivo, 2004.
- FRANCO, F. A. C. P. **Um Sistema para Análise Mecânica de Pavimentos Asfálticos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.
- GONTIJO, P.R.A. **Contribuição para o estudo do comportamento de misturas betuminosas à fadiga por flexão dinâmica, sob ação de cargas rolantes repetidas**. Tese para o concurso de Especialista do LNEC, Lisboa, Portugal, 1979.
- GONTIJO, P. R. A.; SANTANA, H. **Análise Tensional de Sistemas Multicamadas e Procedimento Metodológico para Dimensionamento de Reforço Estrutural de Pavimentos Flexíveis**. 2º SINAPRE, ABPv, V.1, Rio de Janeiro, 1989.
- HILLS, J. F. (1973). **The creep of asphalt mixes**. *Journal of the Institute of Petroleum*, vol. 59, n. 570, p. 247-262
- HILTUNEN D., ROQHE R. and WU X. **Beneficial Reuse of Foundry Residual Wastes Pennsylvania: Physical Characterization of Materials**. Pennsylvania State University, 1992.
- PEREIRA, Raquel Luísa. **Reaproveitamento do Resíduo de Areia Verde de Fundição como Agregado em Misturas Asfálticas**. Relatório preliminar apresentado ao Departamento de Química, Centro de Ciências Exatas. UFPR, 2005.
- MARIOTTO, C.L. **Areias de Fundição: Alguns Desenvolvimentos e Perspectivas**, Comunicação Interna 134 - 16 pág.– IPT - São Paulo : 1984.
- MARIOTTO, C.L. **Areias de Moldagem Aglomeradas com Argila, Notas de Aulas: sem data**.
- MACÊDO, J. A. G. **Interpretação de Ensaio Deflectométricas para Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

- MEDINA, J. **Fundamentos da mecânica dos pavimentos**. Tese de concurso para Professor Titular, COPPE/UFRJ, 1988.
- MEDINA, J. e MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro: COPPE, 2005.
- MEDINA, J., **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª ed., Rio de Janeiro, Editora UFRJ, 1997.
- MOTTA, L. M. G., MEDINA, J., SOUSA, A. M. **Características de fadiga e resiliência de concretos asfálticos brasileiros**. 16º Encontro de Asfalto, Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), Rio de Janeiro, 2002.
- MOTTA, L. M. G. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis, Critério da Confiabilidade e Ensaio de Cargas Repetidas**. Tese de Doutorado. UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 1991.
- MILLER, E.; BAHIA, H.; KHATRI, A.; WINTER, M. **Utilization of Foundry Sand in Hot Mix Asphalt**. University of Wisconsin at Madison, July 1998. Final Report submitted to University-Industry Relationships.
- NEVES FILHO, F. G. **Avaliação da adição de DOPES no comportamento de misturas asfálticas a quente**. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006.
- PINTO, S., PREUSSLER, E., **Módulos resilientes de concretos asfálticos**. Trabalho técnico do 5º Encontro de Asfalto, Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), Rio de Janeiro, 1980.
- PINTO, S. **Estudo do Comportamento à Fadiga de Misturas Betuminosas e Aplicação na Avaliação Estrutural de Pavimentos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.
- PINTO, S. e PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária: Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis**. 2. ed. Rio de Janeiro: Copiadora e Artes Gráficas Ltda., 2002.
- PINTO, S., **Materiais pétreos e concreto asfáltico: conceituação, especificação e utilização**. 1. ed. Rio de Janeiro: Seção de meios auxiliares – Instituto Militar de Engenharia, 2000.
- PINTO, S., **Materiais betuminosos: conceituação e dosagem**. 1. ed. Rio de Janeiro: Seção de meios auxiliares – Instituto Militar de Engenharia, 2000.
- PINTO, S., PREUSSLER, E., **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2.ed., Copiarte, 269 p., Rio de Janeiro, 2002.
- PINTO, Salomão, MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Catálogo de curvas de fadiga**. Boletim Técnico No 16. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 1995. 20 p.

- PREUSSLER, E. S. **Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camadas de reforço**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1983.
- REDE ASFALTO. Disponível em www.redeasfalto.org.br/sistema/relatorios/PC03_N_08-05-2006_03_55_UFC.doc. Capturado em 16/10/2006.
- SCHEUNEMANN, Ricardo. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo fenton**. Dissertação - UFSC. Florianópolis-SC, 2005.
- SANTANA, H. **Análise crítica da ABNT TB-7/1953 : Terminologia e classificação de pavimentação – Tendo-se em vista as vias urbanas**. IN: Curso de Concreto Betuminoso Usinado a Quente. Associação Brasileira de Pavimentação, 1996.
- SANTANA, H. **Considerações sobre os nebulosos conceitos e definições de filer em misturas asfálticas**. IN: Curso de Concreto Betuminoso Usinado a Quente. Associação Brasileira de Pavimentação, 1996.
- SANTANA, H. **Manual de Pré-Misturados a Frio**. Rio de Janeiro: IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, 1993.
- SANTANA, H. **Instruções para a dosagem de Concretos Betuminosos Usinados a Quente**. IN: Curso de Concreto Betuminoso Usinado a Quente. Associação Brasileira de Pavimentação, 1996.
- SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 1997, 746p.
- STEFENON, Fernando. **Incorporação de Resíduos Industriais em Concreto Betuminoso Usinado à Quente**. Mestrado Profissional em Engenharia. Universidade de Caxias do Sul, 2003, 101p.
- SELMO, Sílvia. **Materiais Betuminosos**. Notas de aula. PCC 2339 – Materiais de construção civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002, 27p.
- SOARES, J. B., L. M. G. Motta, J. A. Paiva, & J. V. Castelo Branco. **Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas com Variação de Granulometria e de CAP**, 150p. Encontro de Asfalto do IBP, Rio de Janeiro-RJ, 2000.
- TONIAL, I. A., . **Influência do Envelhecimento do Revestimento Asfáltico na Vida de Fadiga de Pavimentos**. Tese de Mestrado da COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro/ RJ, 2001.
- VIEIRA, A. **Mecânica dos Pavimentos**. Notas de Aula. Engenharia de Transportes, IME, 2006.

VINHA, A.M. **CAP-DOP agente melhorador de adesividade.** Produtos Asfálticos Aplicáveis em Pavimentação Rodoviária. Petrobrás Distribuidora S.A. BR Asfaltos. 8 p. 1975.

7 APÊNCICES

7.1 APÊNCICE 1: REISTÊNCIA A TRAÇÃO, MÓDULO DE RESILIÊNCIA E FADIGA

Resistência à Tração

CATUPY CI 10N.R.A.F			CA FÁCTOR CI 8N.R.A.F			CA NORMAL CI 8N. ANAIPURA			CATUPY CI 10N.R.A.F "tratau"			CA NORMAL "tratau"		
Cp 3 molhados no laboratório da IPR			Cp 3 molhados no laboratório da IPR			Cp 3 molhados no laboratório da IPR			Cp 3 molhados na pita			Cp 3 molhados na pita		
n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)
1	0,944	0,92	19	0,970	0,95	1a	0,95		1b	1,84		1d	1,95	
2	0,868	0,92	20	0,940	0,95	2a	1,02	0,99 #DIV/0!	2b	1,79	1,84	2i	1,93	1,86
3	0,947		21	0,950		3			3b	1,88		3i	1,99	0,03

CA TUPY "extra-dopada"			CA FÁCTOR "extra-dopada"			CA NORMAL "extra-dopada"		
Cp 3 de pita			Cp 3 de pita			Cp 3 de pita		
n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)
1h	0,98		1j	1,03		1j	0,85	
2h	1,05	0,98	2j	1,14	1,07	2j	0,98	0,83
3h	0,92		3j	1,05		3j	0,86	0,17

PMF TUPY CI 8AF "tratau"			PMF FÁCTOR CI 8AF "tratau"			PMF NORMAL "tratau"			PMF FÁCTOR "extra-dopada"			PMF NORMAL "extra-dopada"		
Cp 3 molhados na pita			Cp 3 molhados na pita			Cp 3 molhados na pita			Cp 3 de pita			Cp 3 de pita		
n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)	n.º Cp	RT (MPa)	Média (MPa)
1h	0,28		1f	0,33		1g	0,22		1i	0,48		1m	0,53	
2e	0,33	0,32	2f	0,25	0,29	2g	0,22	0,19	2i	0,54	0,47	2m	0,49	0,54
3e	0,34		3f	0,28		3g	0,12		3i	0,28		3m	0,59	0,20

RT Resistência à tração
 MR Módulo de Resiliência
 CA Controlo Atóxico
 PMF Pré-misturado a frio
 Cp 3 Corpos-de-prova
 RAF Rejeito de Área de Fundição
 TC Tensão Controlada

NUMERAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA PARA ENSAIO DE RT, MR E FADIGA

CA TUPY c/10% RAF		CA FAGOR c/8% RAF		CA NORMAL c/8% Areia PURA		CA TUPY c/10% RAF		CA FAGOR c/10% RAF		CA NORMAL "in situ"	
Cp's moldados no laboratório		Cp's moldados no laboratório		Cp's moldados no laboratório		Cp's moldados na pista		Cp's moldados na pista		Cp's moldados na pista	
RT	Fadiga (TC)	RT	Fadiga (TC)	RT	Fadiga (TC)	RT	MR	Fadiga (TC)	RT	MR	Fadiga (TC)
1	4ct 7 10 13 16 19	4bf 25 28 31 34	1a 3a 5a 7a 9a	11a 1c 4c 7c 10c 13c 16c	1b 4b 7b 10b 13b 16b	1d 4d 7d 10d 13d 16d					
2	5ct 8 11 14 17 20	5bf 26 29 32 35	2a 4a 6a 8a 10a	12a 2c 5c 8c 11c 14c 17c	2b 5b 8b 11b 14b 18b	2d 5d 8d 11d 14d 17d					
3	6ct 9 12 15 18 21	6bf 27 30 33 36			3c 6c 9c 12c 15c 18c	3b 6b 9b 12b 15b 19b	3d 6d 9d 12d 15d 18d				

CATUPY "extradapista"		CAFAGOR "extradapista"		CANORMAL "extradapista"	
Cp's de pista		Cp's de pista		Cp's de pista	
RT	Fadiga (TC)	RT	Fadiga (TC)	RT	Fadiga (TC)
1h		1i 4i		1j 4j	
2h		2i 5i		2j 5j	
3h		3i 6i		3j 6j	

PMF TUPY "in situ"		PMF FAGOR "in situ"		PMF NORMAL "in situ"		PMF TUPY "extradapista"		PMF FAGOR "extradapista"		PMF NORMAL "extradapista"	
Cp's moldados na pista		Cp's moldados na pista		Cp's moldados na pista		Cp's de pista		Cp's de pista		Cp's de pista	
RT	Fadiga (TC)	RT	Fadiga (TC)	RT	Fadiga (TC)	RT	MR	Fadiga (TC)	RT	MR	Fadiga (TC)
1e	4e 7e 13e 16e 19e	1f 4f 7f 10f 13f 16f	1g 4g 7g 10g 13g 16g	11 4i 7i 10i 13i 16i	1m 4m 7m 10m 13m 16m	1n 4n 7n 10n 13n 16n					
2e	5e 8e 14e 17e 20e	2f 5f 8f 11f 14f 17f	2g 5g 8g 11g 14g 17g	2i 5i 8i 11i 14i 17i	2m 5m 8m 11m 14m 17m	2n 5n 8n 11n 14n 17n					
3e	6e 12e 18e	3f 6f 9f 12f 18f	3g 6g 9g 12g 18g	3i 6i 9i 12i 18i	3m 6m 9m 12m 18m	3n 6n 9n 12n 18n					

RT Resistência a tração
 MR Módulo de Resiliência
 CA Concreto Armado
 PMF Pré-misturado a frio
 Cp's Corpos-de-prova
 RAF Rejeito de Areia de Fundação
 TC Tensão Controlada

ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: CA c/ 10% de ADF da TUPY (cp's moldados no laboratório do IPR) Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): *Clauber Costa*

Módulo resiliente médio da amostra: 3987 MPa Interessado: *Clauber Costa*

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 0,92 MPa Data: *abril/2007*

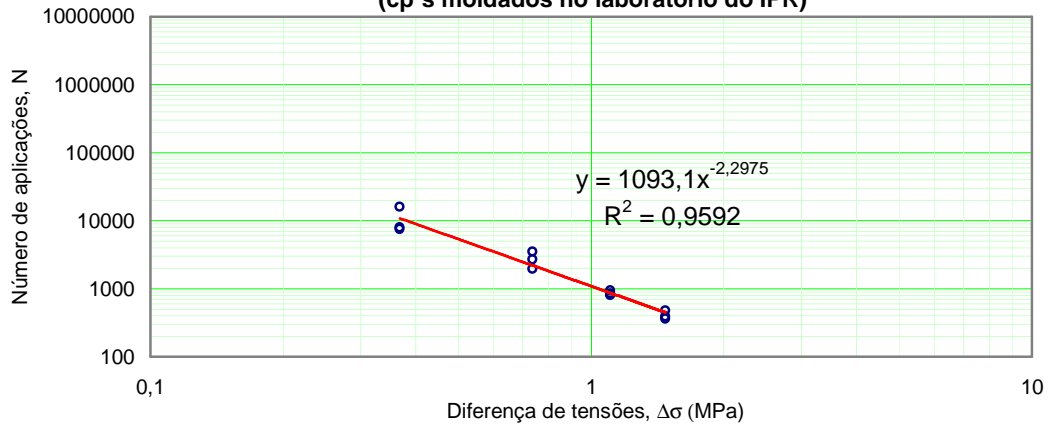
Equação do cil. de carga (125mm):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

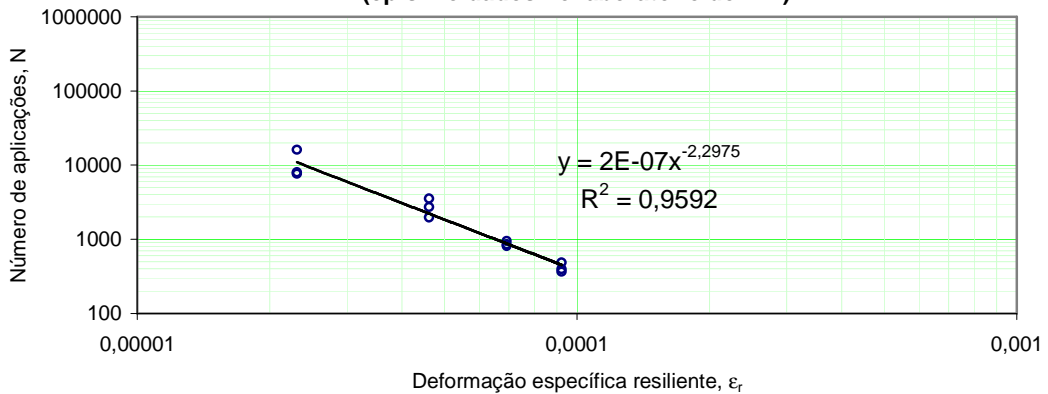
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
7	5,80	10,20	10	87,2	0,69	0,0000231	0,37	7582
8	5,74	10,18	10	86,1	0,68	0,0000231	0,37	7983
9	5,76	10,19	10	86,5	0,68	0,0000231	0,37	16047
10	5,65	10,18	20	169,6	1,36	0,0000461	0,74	3539
11	5,67	10,20	20	170,5	1,36	0,0000461	0,74	2715
12	5,61	10,23	20	169,2	1,35	0,0000461	0,74	1974
13	5,70	10,20	30	257,1	2,07	0,0000692	1,10	808
14	5,60	10,20	30	252,6	2,03	0,0000692	1,10	944
15	5,70	10,16	30	256,1	2,06	0,0000692	1,10	855
16	5,63	10,21	40	338,9	2,73	0,0000923	1,47	482
17	5,73	10,18	40	343,9	2,77	0,0000923	1,47	366
18	5,66	10,21	40	340,7	2,74	0,0000923	1,47	393

**CA c/ 10% de ADF da TUPY
(cp's moldados no laboratório do IPR)**



**CA c/ 10% de ADF da TUPY
(cp's moldados no laboratório do IPR)**



ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: CA c/ 8% de ADF da FAGOR (cp's moldados no laboratório do IPR) Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): *Clauber Costa*

Módulo resiliente médio da amostra: 3179 MPa Interessado: *Clauber Costa*

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 0,95 MPa Data: *abril/2007*

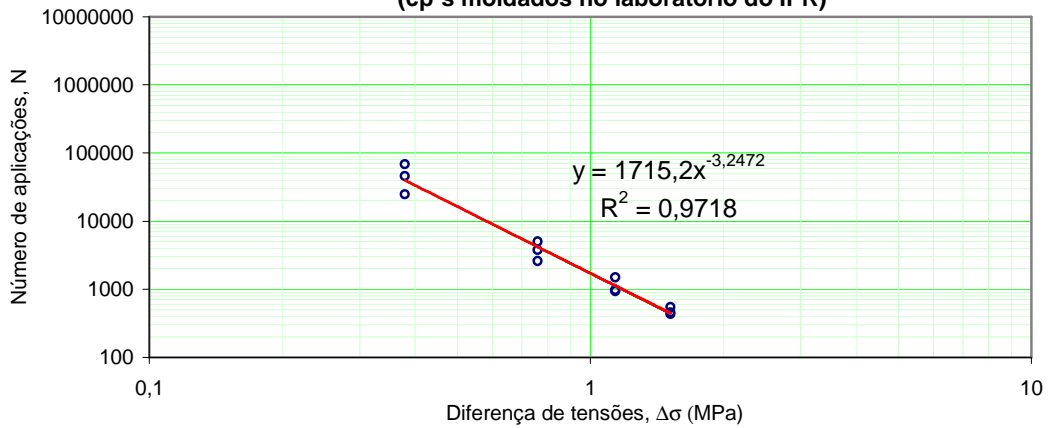
Equação do cil. de carga ($\varnothing 125mm$):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

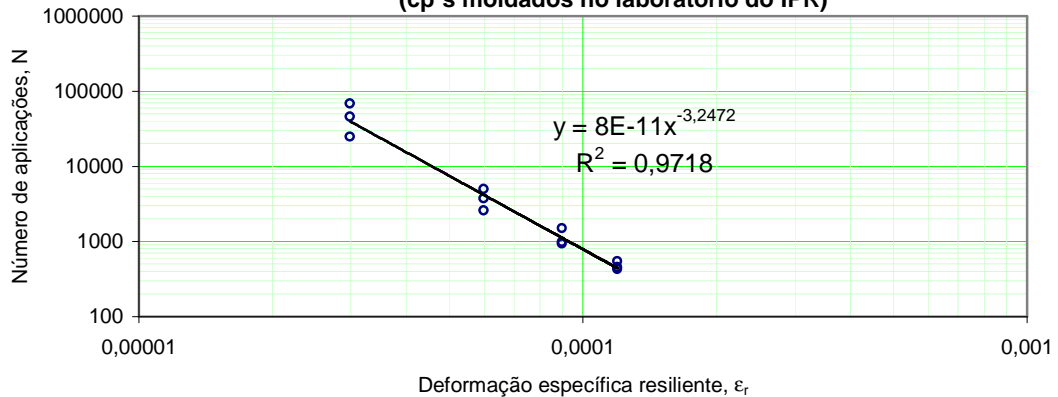
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
25	5,62	10,20	10	87,3	0,69	0,0000299	0,38	68400
26	5,69	10,21	10	88,4	0,70	0,0000299	0,38	24692
27	5,69	10,15	10	87,9	0,70	0,0000299	0,38	45652
28	5,69	10,18	20	176,3	1,41	0,0000598	0,76	3748
29	5,68	10,20	20	176,4	1,41	0,0000598	0,76	2597
30	5,64	10,19	20	175,0	1,40	0,0000598	0,76	5008
31	5,71	10,18	30	265,4	2,13	0,0000897	1,14	982
32	5,69	10,18	30	264,5	2,13	0,0000897	1,14	934
33	5,69	10,18	30	264,5	2,13	0,0000897	1,14	1495
34	5,73	10,18	40	355,1	2,86	0,0001195	1,52	454
35	5,76	10,20	40	357,7	2,88	0,0001195	1,52	431
36	5,72	10,19	40	354,9	2,86	0,0001195	1,52	546

CA c/ 8% de ADF da FAGOR
(cp's moldados no laboratório do IPR)



CA c/ 8% de ADF da FAGOR
(cp's moldados no laboratório do IPR)



ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: CA c/ 8% Areia (cp's moldados no laboratório do IPR) Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): *Clauber Costa*

Módulo resiliente médio da amostra: 3840 MPa Interessado: *Clauber Costa*

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 0,99 MPa Data: *abril/2007*

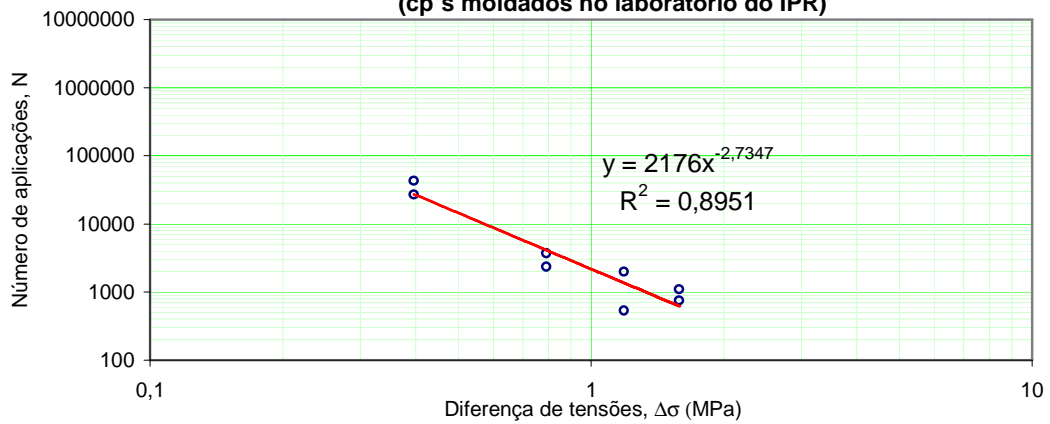
Equação do cil. de carga (125mm):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

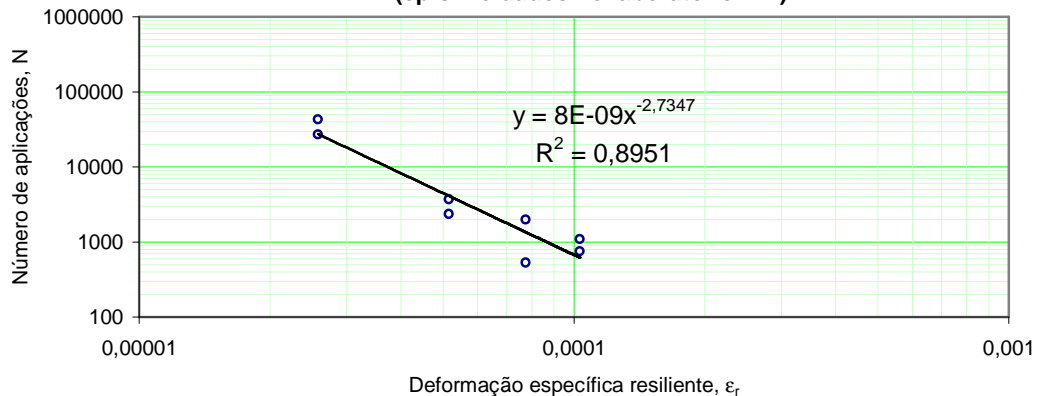
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
5a	5,88	10,20	10	95,1	0,75	0,0000258	0,40	27083
6a	5,75	10,20	10	93,0	0,74	0,0000258	0,40	43143
7a	5,76	10,18	20	186,0	1,49	0,0000516	0,79	3716
8a	5,85	10,16	20	188,6	1,51	0,0000516	0,79	2366
9a	5,88	10,16	30	284,3	2,29	0,0000773	1,19	535
10a	5,73	10,16	30	277,0	2,23	0,0000773	1,19	1995
11a	5,72	10,20	40	370,2	2,98	0,0001031	1,58	751
12a	5,70	10,20	40	368,9	2,97	0,0001031	1,58	1092

**CA s/ ADF c/ 8% areia rio ou cava
(cp's moldados no laboratório do IPR)**



**CA s/ ADF
(cp's moldados no laboratório IPR)**



ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: PMF s/ ADF (cp's moldados "in situ") Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): Clauber Costa

Módulo resiliente médio da amostra: 936 MPa Interessado: Clauber Costa

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 0,19 MPa Data: abril/2007

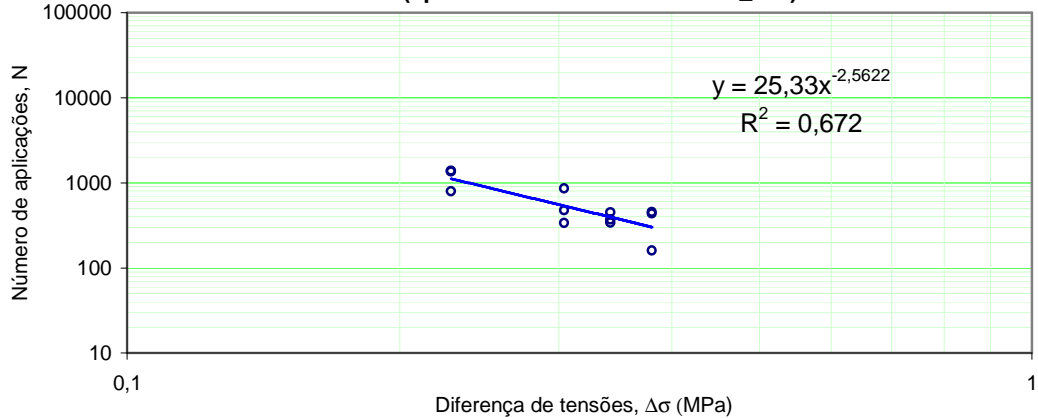
Equação do cil. de carga (125mm):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

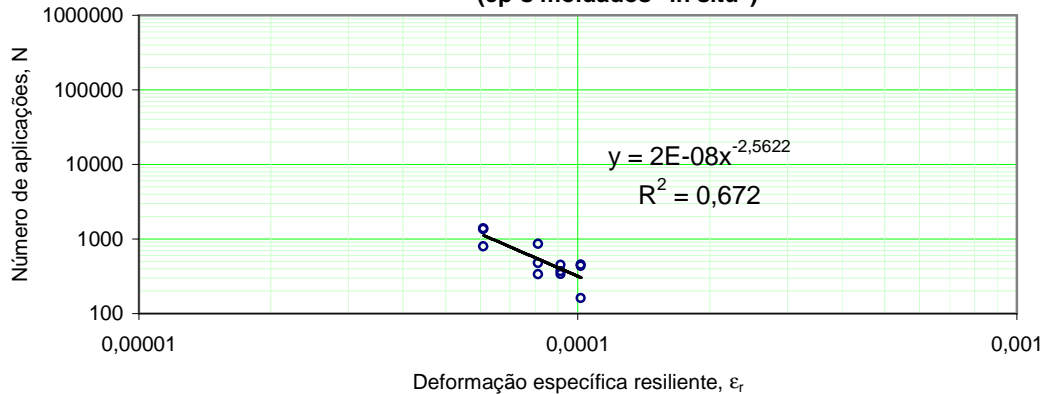
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
7g	6,37	10,10	30	58,8	0,46	0,0000609	0,23	1395
8g	6,53	10,10	30	60,2	0,47	0,0000609	0,23	792
9g	6,40	10,10	30	59,0	0,46	0,0000609	0,23	1356
10g	6,50	10,10	40	79,9	0,63	0,0000812	0,30	475
11g	6,54	10,24	40	81,5	0,64	0,0000812	0,30	337
12g	6,40	10,20	40	79,5	0,63	0,0000812	0,30	857
13g	6,50	10,18	45	90,6	0,72	0,0000913	0,34	371
14g	6,55	10,16	45	91,2	0,72	0,0000913	0,34	340
15g	6,60	10,18	45	92,0	0,73	0,0000913	0,34	449
16g	6,46	10,10	50	99,3	0,79	0,0001015	0,38	454
17g	6,40	10,10	50	98,4	0,78	0,0001015	0,38	435
18g	6,53	10,10	50	100,4	0,80	0,0001015	0,38	160

PMF s/ ADF
(cp's moldados Pista Extrema_MG)



PMF s/ ADF
(cp's moldados "in situ")



ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: PMF c/ 10% de ADF da FAGOR (cp's moldados "in situ") Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): Clauber Costa

Módulo resiliente médio da amostra: 2214 MPa Interessado: Clauber Costa

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 0,29 MPa Data: abril/2007

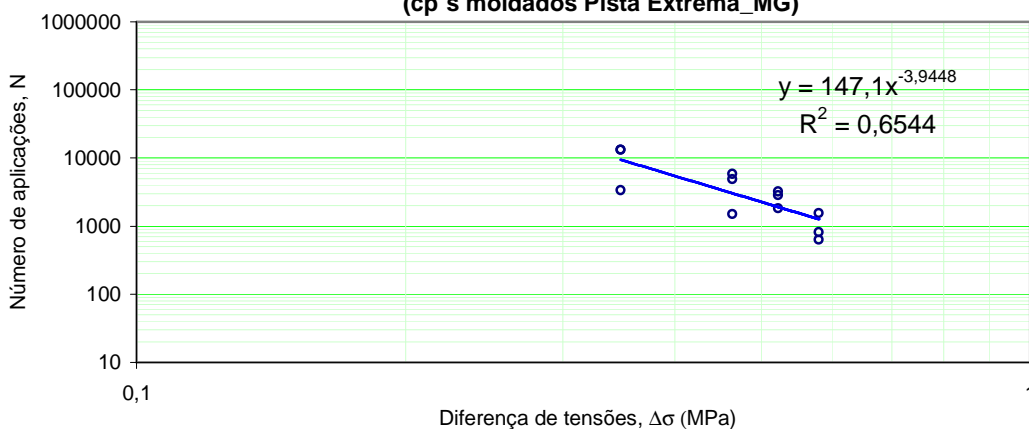
Equação do cil. de carga (125mm):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

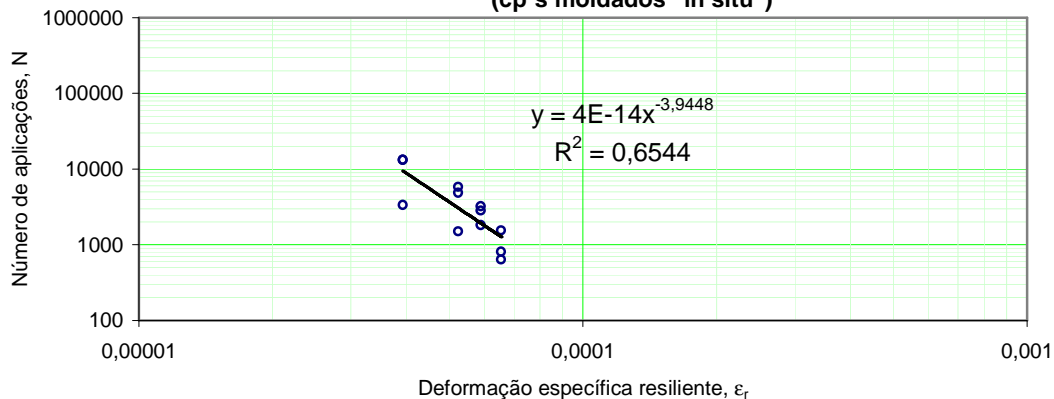
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
7f	5,95	10,18	30	84,4	0,67	0,0000393	0,35	13243
8f	6,00	10,18	30	85,1	0,67	0,0000393	0,35	13296
9f	6,17	10,18	30	87,6	0,69	0,0000393	0,35	3355
10f	6,18	10,18	40	116,9	0,93	0,0000524	0,46	1500
11f	5,91	10,20	40	112,0	0,89	0,0000524	0,46	4874
12f	5,94	10,18	40	112,4	0,89	0,0000524	0,46	5827
13f	5,96	10,18	45	126,9	1,01	0,0000589	0,52	1821
14f	5,94	10,20	45	126,7	1,01	0,0000589	0,52	2835
15f	5,90	10,18	45	125,6	1,00	0,0000589	0,52	3229
16f	5,18	10,18	50	122,5	0,98	0,0000655	0,58	810
17f	6,00	10,18	50	141,9	1,13	0,0000655	0,58	1551
18f	6,17	10,18	50	145,9	1,16	0,0000655	0,58	634

**PMF c/ 10% de ADF da FAGOR
(cp's moldados Pista Extrema_MG)**



**PMF c/ 10% de ADF da FAGOR
(cp's moldados "in situ")**



ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: PMF c/ 10% de ADF da TUPY (cp's moldados "in situ") Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): Clauber Costa

Módulo resiliente médio da amostra: 2579 MPa Interessado: Clauber Costa

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 0,32 MPa Data: abril/2007

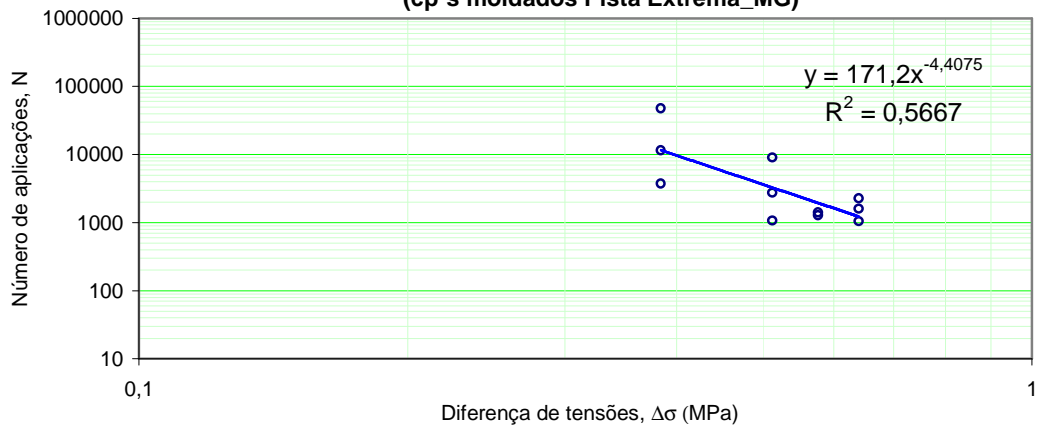
Equação do cil. de carga (125mm):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

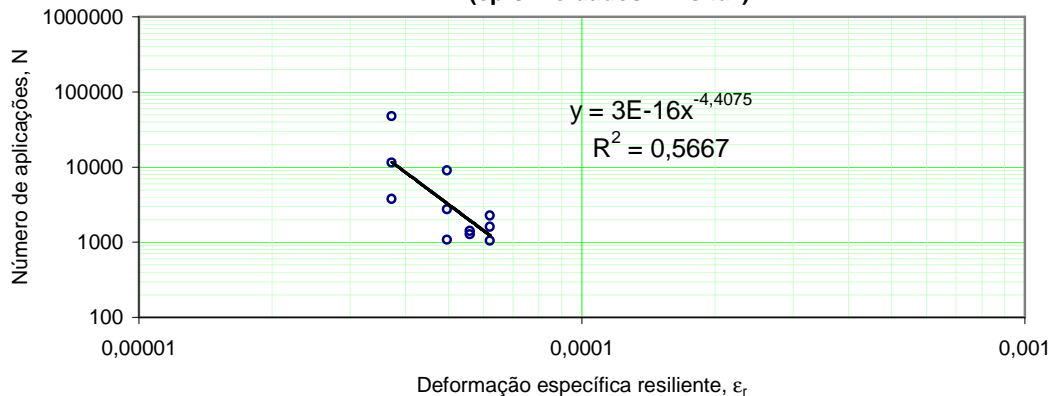
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
13e	5,79	10,20	30	90,8	0,72	0,0000372	0,38	11514
14e	5,80	10,18	30	90,8	0,72	0,0000372	0,38	47580
15e	5,90	10,19	30	92,5	0,73	0,0000372	0,38	3763
16e	5,87	10,20	40	122,8	0,98	0,0000496	0,51	2747
17e	5,88	10,20	40	123,0	0,98	0,0000496	0,51	1078
18e	5,86	10,20	40	122,6	0,98	0,0000496	0,51	9044
19e	5,90	10,18	45	138,6	1,11	0,0000558	0,58	1278
20e	5,82	10,20	45	137,0	1,09	0,0000558	0,58	1414
7e	5,92	10,18	50	154,5	1,23	0,0000620	0,64	1053
8e	5,80	10,16	50	151,1	1,21	0,0000620	0,64	2278
12e	5,76	10,16	50	150,0	1,20	0,0000620	0,64	1602

**PMF c/ 10% de ADF da TUPY
(cp's moldados Pista Extrema_MG)**



**PMF c/ 10% de ADF da TUPY
(cp's moldados "in situ")**



ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: CA s/ ADF (cp's moldados "in situ") Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): Clauber Costa

Módulo resiliente médio da amostra: 8350 MPa Interessado: Clauber Costa

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 1,96 MPa Data: abril/2007

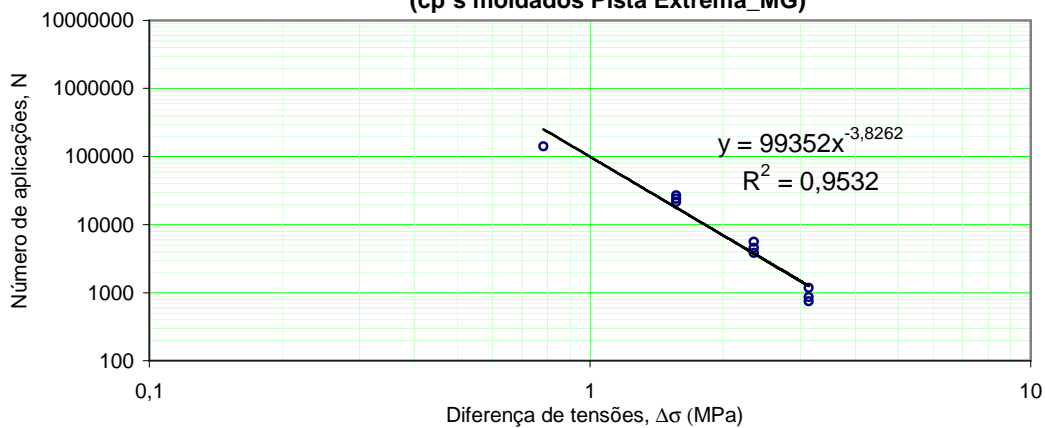
Equação do cil. de carga (125mm):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

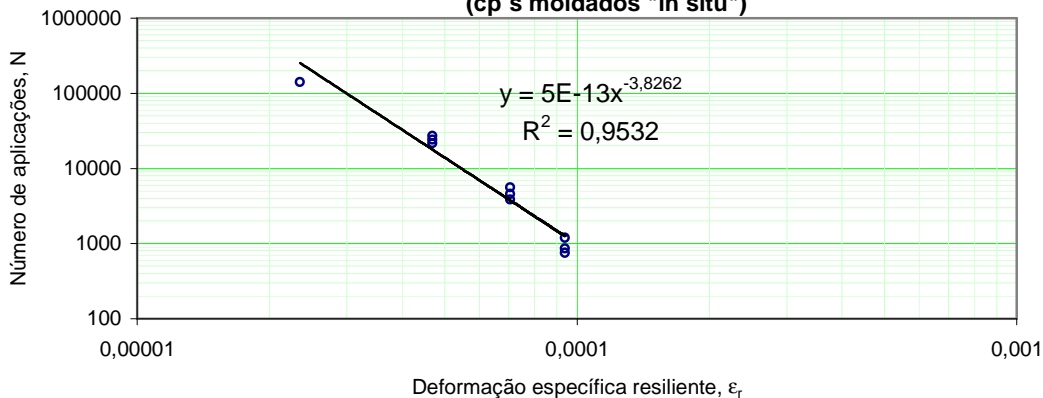
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
8d	6,18	10,20	10	198,0	1,59	0,0000235	0,78	140400
10d	6,12	10,17	20	390,9	3,15	0,0000469	1,57	24058
11d	6,06	10,18	20	387,5	3,12	0,0000469	1,57	27040
12d	6,18	10,18	20	395,1	3,18	0,0000469	1,57	21599
13d	6,14	10,18	30	588,9	4,75	0,0000704	2,35	4555
14d	6,15	10,18	30	589,8	4,76	0,0000704	2,35	3851
15d	6,12	10,18	30	586,9	4,74	0,0000704	2,35	5606
16d	6,02	10,18	40	769,8	6,22	0,0000939	3,14	1187
17d	6,10	10,19	40	780,8	6,31	0,0000939	3,14	858
18d	6,10	10,19	40	780,8	6,31	0,0000939	3,14	753

CA s/ ADF
(cp's moldados Pista Extrema_MG)



CA s/ ADF
(cp's moldados "in situ")



ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: CA c/ 10% de ADF da FAGOR (cp's moldados "in situ") Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): *Clauber Costa*

Módulo resiliente médio da amostra: 7468 MPa Interessado: *Clauber Costa*

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 1,84 MPa Data: *abril/2007*

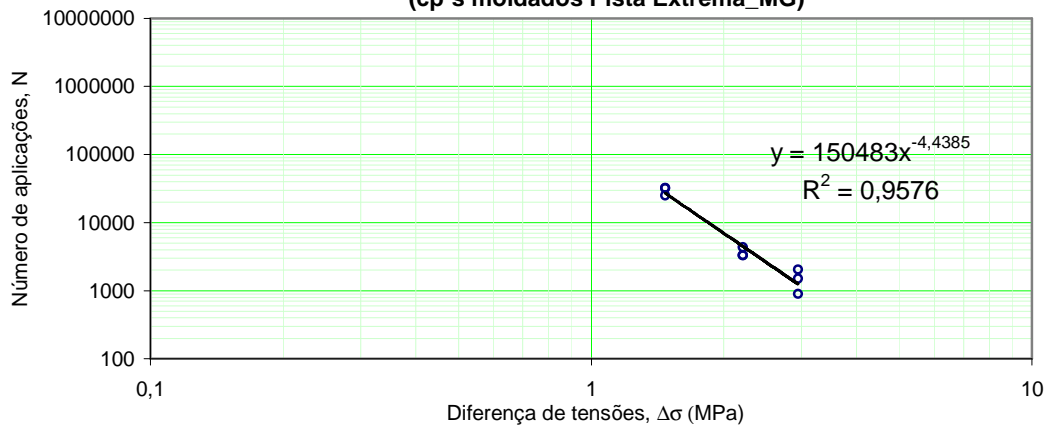
Equação do cil. de carga ($125mm$):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

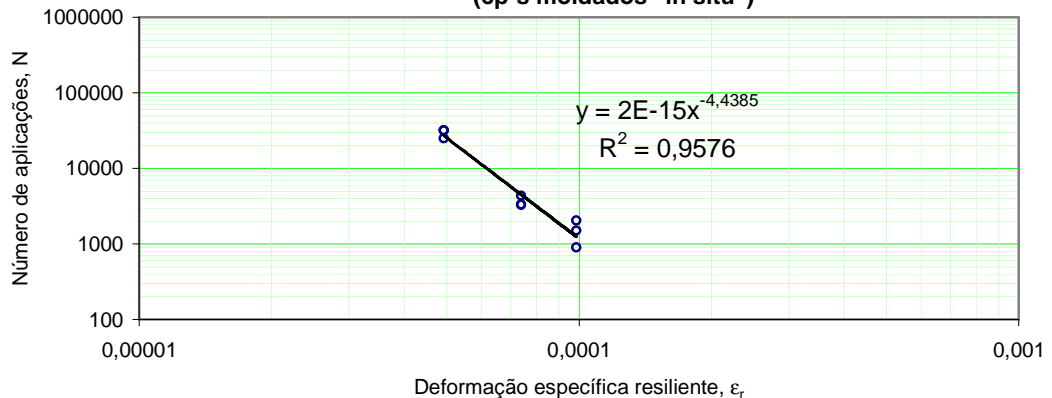
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
8c	6,18	10,18	20	370,9	2,99	0,0000493	1,47	25010
9c	6,16	10,18	20	369,7	2,98	0,0000493	1,47	32208
10c	6,18	10,18	20	370,9	2,99	0,0000493	1,47	31829
11c	6,18	10,17	30	555,9	4,49	0,0000739	2,21	3341
12c	6,18	10,17	30	555,9	4,49	0,0000739	2,21	3307
13c	6,21	10,19	30	559,7	4,52	0,0000739	2,21	4349
14c	6,17	10,18	40	740,7	5,98	0,0000986	2,94	898
15c	6,13	10,18	40	735,9	5,94	0,0000986	2,94	2055
16c	6,18	10,18	40	741,9	5,99	0,0000986	2,94	1515

**CA c/ 10% de ADF da FAGOR
(cp's moldados Pista Extrema_MG)**



**CA c/ 10% de ADF da FAGOR
(cp's moldados "in situ")**



ENSAIO DE FADIGA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Amostra: CA c/ 10% de ADF da TUPY (cp's moldados "in situ") Protocolo:

Temperatura de ensaio: 25 °C Operador(es): Clauber Costa

Módulo resiliente médio da amostra: 7529 MPa Interessado: Clauber Costa

Resistência máxima à tração estática, $\sigma_{Tmax.}$: 1,83 MPa Data: abril/2007

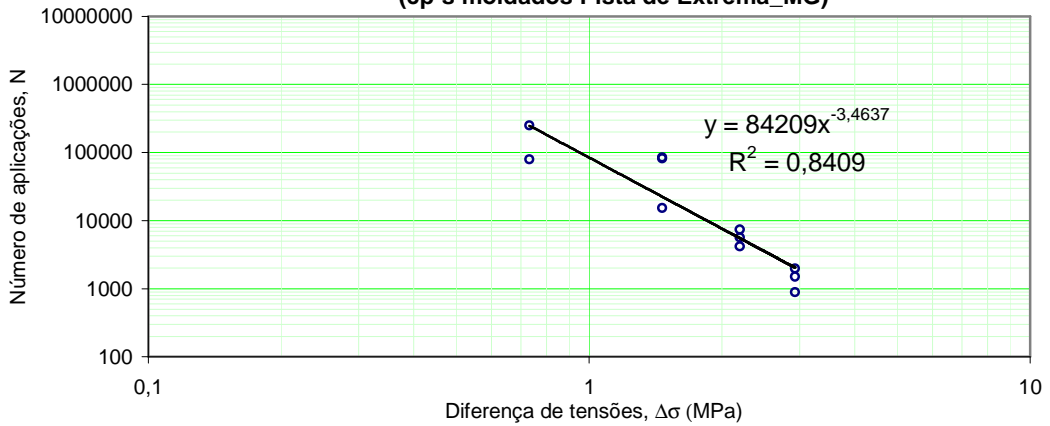
Equação do cil. de carga (125mm):

$$P_{m(0-10)} = 0,0081 F + -0,017$$

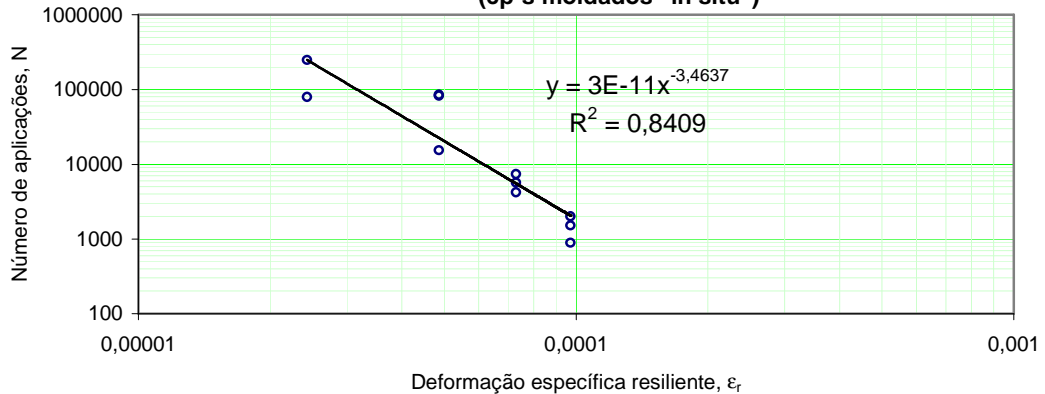
$$F_{(0-10)} = 123,15 P_m + 2,1237$$

Número do corpo de prova	Espessura (cm)	Diâmetro (cm)	Nível de tensão (%)	Carga aplicada (kgf)	Pressão manométrica (kgf/cm ²)	Deformação específica resiliente	Diferença de tensões (MPa)	Número de aplicações
8c	6,18	10,20	10	184,8	1,48	0,0000243	0,73	248808
9c	6,12	10,17	10	182,5	1,46	0,0000243	0,73	79787
10c	6,06	10,18	20	361,8	2,91	0,0000486	1,46	82437
11c	6,18	10,18	20	368,9	2,97	0,0000486	1,46	15402
12c	6,14	10,18	20	366,5	2,95	0,0000486	1,46	84673
13c	6,15	10,18	30	550,7	4,44	0,0000729	2,20	7375
14c	6,12	10,18	30	548,0	4,42	0,0000729	2,20	5674
15c	6,02	10,18	30	539,1	4,35	0,0000729	2,20	4194
16c	6,10	10,19	40	729,0	5,89	0,0000972	2,93	1506
17c	6,10	10,19	40	729,0	5,89	0,0000972	2,93	888
18c	6,16	10,20	40	736,9	5,95	0,0000972	2,93	1993

**CA c/ 10% de ADF da TUPY
(cp's moldados Pista de Extrema_MG)**



**CA c/ 10% de ADF da TUPY
(cp's moldados "in situ")**



7.2 APÊNCICE 2: CARACTERIZAÇÃO DO LIGANTE E AGREGADOS



EXÉRCITO BRASILEIRO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

AGREGADO GRAÚDO											
Origem do material		Jofege Pavimentação e Construção Ltda.				Data		Março/2007			
Classificação do material		Brita 1				Local		Lab. de Asfalto - IPR			
Identificação do material						Laborat		Sérgio Romário			
Interessado		Tese de Mestrado - Eng.º Clauber Costa									
NATUREZA DO MATERIAL											
ADESIVIDADE (72 h)		Ligante				% Dope					
DENSIDADES: REAL E APARENTE DO GRÃO					1º Ensaio		2º Ensaio				
Peso da cesta vazia, g (Tarar a balança, nesse caso A=0) (A)					0,00		0,00				
Peso da cesta+amostra seca, g (leit.c/ balança tarada) (B)					1.092,70		995,70				
Peso da cesta imersa, g (C)					183,60		183,60				
Peso da cesta imersa+amostra, g (D)					917,90		852,60				
Peso da cesta+amostra úmida, g (leit.c/ balança tarada) (E)					1.099,30		1.001,10				
DENSIDADE REAL DO GRÃO (D_r médio)							D_r médio = 3,05				
$D_r = (B - A) / ((B - A) - (D - C))$					1ª Determinação		Dr = 3,049		$D_{efetiva} = 3,02$		
					2ª Determinação		Dr = 3,048				
DENSIDADE APARENTE DO GRÃO (D_r médio)							D_r médio = 3,00				
$D_r = (B - A) / ((E - A) - (D - C))$					1ª Determinação		Dr = 2,994				
					2ª Determinação		Dr = 2,998				
MASSA ESPECÍFICA APARENTE, g/cm ³					1º Ensaio		2º Ensaio				
Peso do caixote+amostra, g (A)					2.823,30		2.838,00				
Peso do caixote, g (B)					487,00		487,00				
Peso da amostra, g (C) = (A) - (B)					2.336,30		2.838,00				
Volume da amostra, cm ³ (D)					1.500,00		1.500,00				
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (μ médio)							μ médio = 1,725				
$\mu_{ap} = C/D$					1ª Determinação		$\mu = 1,558$				
					2ª Determinação		$\mu = 1,892$				
GRANULOMETRIA											
Peneiras	1º Ensaio					2º Ensaio					Média Passante em peso (%)
	Peso da amostra, g:				1.715,50	Peso da amostra, g:				1.412,00	
	Retido				Passante (%)	Retido				Passante (%)	
	Tara	Peso	%	Acum.	(%)	Tara	Peso	%	Acum.	(%)	
Tara											
2"											
1 1/2"											
1"					100			100		100	
3/4"		35,00	2	2	98		2	2	0	100	
1/2"		688,00	40	42	58		514,00	36	36	64	
3/8"		696,00	41	83	15		644,00	46	82	18	
Nº 4		280,00	16	99	1		238,00	17	99	1	
Nº 10		3,00	0	99	1		3,00	0	99	1	
Nº 40		1,00	0	99	1		1,00	0	99	1	
Nº 80		0,50	0	99	1		0,00	0	99	1	
Nº 200		1,00	0	99	1		1,00	0	99	1	
Fundo	1.715,50	11,00	1	100	0	1.412,00	9,00	1	100	0	



EXÉRCITO BRASILEIRO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

AGREGADO GRAÚDO											
Origem do material		Jofege Pavimentação e Construção Ltda.				Data		Março/2007			
Classificação do material		Pó + Pedrisco				Local		Lab. de Asfalto - IPR			
Identificação do material						Laborat		Sérgio Romário			
Interessado		Tese de Mestrado - Eng.º Clauber Costa									
NATUREZA DO MATERIAL											
ADESIVIDADE (72 h)		Ligante				% Dope					
DENSIDADES: REAL E APARENTE DO GRÃO				1º Ensaio		2º Ensaio					
Peso da cesta vazia, g (Tarar a balança, nesse caso A=0)(A)				0,00		0,00					
Peso da cesta+amostra seca, g (leit.c/ balança tarada) (B)				589,10		495,10					
Peso da cesta imersa, g (C)				183,10		183,10					
Peso da cesta imersa+amostra, g (D)				579,30		516,30					
Peso da cesta+amostra úmida, g (leit.c/ balança tarada) (E)				596,70		501,50					
DENSIDADE REAL DO GRÃO (D_r médio)						$D_{r\text{médio}} = 3,06$					
$D_r = (B - A) / ((B - A) - (D - C))$				1ª Determinação		Dr = 3,054		$D_{\text{efetiva}} = 3,00$			
				2ª Determinação		Dr = 3,058					
DENSIDADE APARENTE DO GRÃO (D_r médio)						$D_{r\text{médio}} = 2,94$					
$D_r = (B - A) / ((E - A) - (D - C))$				1ª Determinação		Dr = 2,938					
				2ª Determinação		Dr = 2,942					
MASSA ESPECÍFICA APARENTE, g/cm ³				1º Ensaio		2º Ensaio					
Peso do caixote+amostra, g (A)				3.090,70		3.118,80					
Peso do caixote, g (B)				487,00		487,00					
Peso da amostra, g (C) = (A) - (B)				2.603,70		2.631,80					
Volume da amostra, cm ³ (D)				1.500,00		1.500,00					
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (μ médio)						$\mu_{\text{médio}} = 1,745$					
$\mu_{\text{ap}} = C/D$				1ª Determinação		$\mu = 1,736$					
				2ª Determinação		$\mu = 1,755$					
GRANULOMETRIA											
Peneiras	1º Ensaio					2º Ensaio					Média Passante em peso (%)
	Peso da amostra, g:				1.539,00	Peso da amostra, g:				1.588,00	
	Retido				Passante	Retido				Passante	
	Tara	Peso	%	Acum.	(%)	Tara	Peso	%	Acum.	(%)	
Tara											
2"											
1 1/2"											
1"											
3/4"					100					100	100
1/2"					100					100	100
3/8"					100					100	100
Nº 4	35,00	35,00	2	2	98	35,00	35,00	2	2	98	98
Nº 10	532,00	497,00	32	35	65	559,00	524,00	33	35	65	65
Nº 40	1.136,00	604,00	39	74	26	1.167,00	608,00	38	73	27	27
Nº 80	1.250,00	114,00	7	81	19	1.285,00	118,00	8	81	19	19
Nº 200	1.357,00	107,00	7	88	12	1.397,00	112,00	7	88	12	12
Fundo	1.539,00	182,00	12	100	0	1.588,00	191,00	12	100	0	0



EXÉRCITO BRASILEIRO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

AGREGADO GRAÚDO											
Origem do material		Jofege Pavimentação e Construção Ltda.				Data		Março/2007			
Classificação do material		Pedrisco				Local		Lab. de Asfalto - IPR			
Identificação do material						Laborat		Sérgio Romário			
Interessado		Tese de Mestrado - Eng.º Clauber Costa									
NATUREZA DO MATERIAL											
ADESIVIDADE (72 h)		Ligante				% Dope					
DENSIDADES: REAL E APARENTE DO GRÃO				1º Ensaio		2º Ensaio					
Peso da cesta vazia, g (Tarar a balança, nesse caso A=0)(A)				0,00		0,00					
Peso da cesta+amostra seca, g (leit.c/ balança tarada) (B)				672,40		883,80					
Peso da cesta imersa, g (C)				183,10		183,10					
Peso da cesta imersa+amostra, g (D)				635,60		778,00					
Peso da cesta+amostra úmida, g (leit.c/ balança tarada) (E)				679,30		892,70					
DENSIDADE REAL DO GRÃO (Dr médio)						Dr médio = 3,06					
Dr = (B - A) / ((B - A) - (D - C))				1ª Determinação		Dr = 3,058		D efetiva = 3,01			
				2ª Determinação		Dr = 3,059					
DENSIDADE APARENTE DO GRÃO (Dr médio)						Dr médio = 2,97					
Dr = (B - A) / ((E - A) - (D - C))				1ª Determinação		Dr = 2,965					
				2ª Determinação		Dr = 2,968					
MASSA ESPECÍFICA APARENTE, g/cm³				1º Ensaio		2º Ensaio					
Peso do caixote+amostra, g (A)				2.807,00		2.821,00					
Peso do caixote, g (B)				487,00		487,00					
Peso da amostra, g (C) = (A) - (B)				2.320,00		2.334,00					
Volume da amostra, cm³ (D)				1.500,00		1.500,00					
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (μ médio)						μ médio = 1,551					
μ _{ap} = C/D				1ª Determinação		μ = 1,547					
				2ª Determinação		μ = 1,556					
GRANULOMETRIA											
Peneiras	1º Ensaio					2º Ensaio					Média Passante em peso (%)
	Peso da amostra, g: 1.300,00					Peso da amostra, g: 1.346,00					
	Retido Passante (%)					Retido Passante (%)					
	Tara	Peso	%	Acum.	(%)	Tara	Peso	%	Acum.	(%)	
Tara											
2"											
1 1/2"											
1"											
3/4"					100					100	100
1/2"					100					100	100
3/8"	1,00	1,00	0	0	100	4,00	4,00	0	0	100	100
Nº 4	939,00	938,00	72	72	28	958,00	954,00	71	71	29	28
Nº 10	1.272,00	333,00	26	98	2	1.315,00	357,00	27	98	2	2
Nº 40	1.278,00	6,00	0	98	2	1.320,00	5,00	0	98	2	2
Nº 80	1.279,00	1,00	0	98	2	1.322,00	2,00	0	98	2	2
Nº 200	1.282,00	3,00	0	99	1	1.325,00	3,00	0	98	2	1
Fundo	1.300,00	18,00	1	100	0	1.346,00	21,00	2	100	0	0



EXÉRCITO BRASILEIRO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA

ÍNDICE DE FORMA DE AGREGADOS

PASSANDO PENEIRA DE MALHA CIRCULAR (TAMANHO DIRETRIZ)		CRIVO I			CRIVO II				
Peneiras (mm)	Peso (g)	Abertura (mm)	Peso (g)	P1 %	Abertura (mm)	Peso (g)	P2 %		
76,2 - 63,5		38,1			25,4				
63,5 - 50,8		31,5			21,4				
50,8 - 38,1		25,4			17,5				
38,1 - 31,5		19			112,7				
31,5 - 25,4		15,8			10,3				
25,4 - 19,0		12,7			8,7				
19,0 - 15,8		9,5			6,3				
19,0 - 15,8	2.000,00	9,5	1.515,0	76%	6,3	386	19%		
15,8 - 12,7		7,9			5,5				
12,7 - 9,5	2.000,00	6,3	1.591,0	80%	3,9	384	19%		
12,7 - 9,5		6,3			3,9				
9,5 - 6,3		4,8			3,2				
				Soma P1 %	155%			Soma P2 %	39%

Número de tamanhos diretrizes: n=2

Data: junho/2007

Fator de cubicidade:	$\frac{\text{Somatório P1} + 1/2 \text{ Somatório}}{100 * n}$	0,87
----------------------	---	------



EXÉRCITO BRASILEIRO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA

DESGASTE DE AGREGADO POR ABRASÃO (ABRASÃO LOS ANGELES)

AGREGADO GRAÚDO			
Origem do material	Jofege Pavimentação e Construção Ltda.	Data	junho/2007
Classificação do material	Brita n.º 1	Local	Lab. de Concreto - IPR
Identificação do material		Laborat	Tiago
Interessado	Tese de Mestrado - Clauber Costa		

ABERTURA DAS PENEIRAS		PESO DA AMOSTRA (g)			
Passando	Retido	Graduação A (12)	Graduação B (11)	Graduação C (8)	Graduação D (6)
1 1/2"	1"	1.250,00			
1"	3/4"	1.250,00			
3/4"	1/2"	1.250,00	2.500,00		
1/2"	3/8"	1.250,00	2.500,00		
3/8"	Nº 3			2.500,00	
Nº 3	Nº 4			2.500,00	
Nº 4	Nº 8				5.000,00
PESO TOTAL (g)		5.000,00	5.000,00	5.000,00	5.000,00

Nota: Os números que se seguem à designação das graduações indicam as quantidades de esferas de aço a empregar no ensaio.

Nº de rotações da máquina: 500
Duração do ensaio: 15 min
Graduação: B

Data: junho/2007

	Após o ensaio (g)
Mat. Retido # Nº 12	4326
Mat. Retido # Nº 12	674
DESGASTE (%)	13,48



EXÉRCITO BRASILEIRO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

AGREGADO MIÚDO											
Origem do material	Instituto Militar de Engenharia-IME				Data	Março/2007					
Classificação do material	Areia de Cava ou de Rio				Local	Lab. de Asfalto - IPR					
Identificação do material					Laborat	Sérgio Romário					
Interessado	Tese de Mestrado - Eng.º Clauber Costa										
NATUREZA DO MATERIAL											
ADESIVIDADE (72 h)			Ligante			% Dope					
DENSIDADE REAL				1º Ensaio		2º Ensaio					
Peso do balão, g		(A)		139,40		140,10					
Peso do balão+amostra, g		(B)		464,40		443,20					
Peso do balão+amostra+água, g		(C)		839,20		826,10					
Peso do balão+água, g		(D)		638,10		638,50					
DENSIDADE REAL						Dr _{médio} = 2,62					
Dr = (B - A) / ((B - A) - (C - D))				1ª Determinação		Dr = 2,623					
				2ª Determinação		Dr = 2,624					
MASSA ESPECÍFICA APARENTE, g/cm ³				1º Ensaio		2º Ensaio					
Peso do caixote+amostra, g		(A)									
Peso do caixote, g		(B)									
Peso da amostra, g		(C)									
Volume da amostra, cm ³		(D)									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (μ _{médio})						μ _{médio} =					
μ _{ap} = C/D				1ª Determinação		μ =					
				2ª Determinação		μ =					
GRANULOMETRIA											
Peneiras	1º Ensaio					2º Ensaio					Média Passante em peso (%)
	Peso da amostra, g:				1.226,00	Peso da amostra, g:				2.188,00	
	Retido				Passante (%)	Retido				Passante (%)	
	Tara	Peso	%	Acum.		Tara	Peso	%	Acum.		
Tara											
2"											
1 1/2"											
1"											
3/4"											
1/2"											
3/8"					100					100	100
Nº 4	4,00	4,00	0	0	100	8,00	8,00	0	0	100	100
Nº 10	42,00	38,00	3	3	97	58,00	50,00	2	2	98	98
Nº 40	953,00	911,00	74	77	13	1.694,00	1.636,00	75	77	13	13
Nº 80	1.173,00	220,00	18	95	5	2.093,00	399,00	18	95	5	5
Nº 200	1.216,00	43,00	4	99	1	2.172,00	79,00	4	99	1	1
Fundo	1.226,00	10,00	1	100	0	2.188,00	16,00	1	100	0	0



EXÉRCITO BRASILEIRO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

AGREGADO MIÚDO											
Origem do material		Tupy Fundições Ltda.				Data		Março/2007			
Classificação do material		RAF/ADF (TUPY)				Local		Lab. de Asfalto - IPR			
Identificação do material						Laborat		Sérgio Romário			
Interessado		Tese de Mestrado - Eng.º Cláuber Costa									
NATUREZA DO MATERIAL											
ADESIVIDADE (72 h)		Ligante				% Dope					
DENSIDADE REAL					1º Ensaio		2º Ensaio				
Peso do balão, g		(A)		130,60		137,10					
Peso do balão+amostra, g		(B)		375,90		398,80					
Peso do balão+amostra+água, g		(C)		776,40		793,00					
Peso do balão+água, g		(D)		627,90		634,50					
DENSIDADE REAL					Dr _{médio} = 2,53						
Dr = (B - A) / ((B - A) - (C - D))					1ª Determinação		Dr = 2,534				
					2ª Determinação		Dr = 2,536				
MASSA ESPECÍFICA APARENTE, g/cm ³					1º Ensaio		2º Ensaio				
Peso do caixote+amostra, g		(A)		2542,1		2547,5					
Peso do caixote, g		(E)		487,00		487,00					
Peso da amostra, g		(C)		2059,1		2060,5					
Volume da amostra, cm ³		(D)		1,500		1,500					
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (μ _{médio})					μ _{médio} = 1373,2						
μ _{ap} = C/D					1ª Determinação		μ = 1372,73				
					2ª Determinação		μ = 1373,67				
GRANULOMETRIA											
Peneiras	1º Ensaio					2º Ensaio					Média Passante em peso (%)
	Peso da amostra, g: 719,00					Peso da amostra, g: 957,00					
	Retido				Passante (%)	Retido				Passante (%)	
Tara	Peso	%	Acum.	Tara		Peso	%	Acum.			
Tara											
2"											
1 1/2"											
1"											
3/4"											
1/2"											
3/8"											
Nº 4											
Nº 10					100					100	100
Nº 40	203,00	203,00	23	23	77	216,00	216,00	24	24	76	77
Nº 80	745,00	542,00	60	83	17	767,00	551,00	60	84	16	17
Nº 200	831,00	86,00	10	93	7	910,00	143,00	15	99	1	4
Fundo	897,00	66,00	7	100	0	914,00	4,00	1	100	0	0



EXÉRCITO BRASILEIRO
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA



DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT
INSTITUTO DE PESQUISA RODOVIÁRIA

FICHA DE CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

AGREGADO MIÚDO											
Origem do material		Fagor Ederlan Brasileira Ltda.				Data		Março/2007			
Classificação do material		RAF/ADF (FAGOR)				Local		Lab. de Asfalto - IPR			
Identificação do material						Laborat		Sérgio Romário			
Interessado		Tese de Mestrado - Eng.º Clauber Costa									
NATUREZA DO MATERIAL											
ADESIVIDADE (72 h)		Ligante				% Dope					
DENSIDADE REAL					1º Ensaio		2º Ensaio				
Peso do balão, g		(A)			130,50		130,40				
Peso do balão+amostra, g		(B)			385,60		380,70				
Peso do balão+amostra+água, g		(C)			780,30		777,90				
Peso do balão+água, g		(D)			627,90		627,90				
DENSIDADE REAL					Dr _{médio} = 2,49						
Dr = (B - A) / ((B - A) - (C - D))					1ª Determinação		Dr = 2,484				
					2ª Determinação		Dr = 2,496				
MASSA ESPECÍFICA APARENTE, g/cm ³					1º Ensaio		2º Ensaio				
Peso do caixote+amostra, g		(A)									
Peso do caixote, g		(B)									
Peso da amostra, g		(C)									
Volume da amostra, cm ³		(D)									
MASSA ESPECÍFICA APARENTE (μ _{médio})					μ _{médio} =						
μ _{ap} = C/D					1ª Determinação		μ =				
					2ª Determinação		μ =				
GRANULOMETRIA											
Peneiras	1º Ensaio					2º Ensaio					Média Passante em peso (%)
	Peso da amostra, g:				540,70	Peso da amostra, g:				519,20	
	Retido				Passante	Retido				Passante	
	Tara	Peso	%	Acum.	(%)	Tara	Peso	%	Acum.	(%)	
Tara											
2"											
1 1/2"											
1"											
3/4"											
1/2"											
3/8"											
Nº 4					100					100	100
Nº 10					100					100	100
Nº 40	42,60	42,60	8	8	92	46,30	46,30	9	9	91	92
Nº 80	456,50	413,50	77	85	15	461,60	415,30	80	89	11	13
Nº 200	532,60	76,10	14	99	1	512,50	50,90	10	99	1	1
Fundo	540,70	8,10	1	100	0	519,20	6,70	1	100	0	0

7.3 APÊNCICE 3: LIXIVIAÇÃO, SOLUBILIZAÇÃO E ÁGUA PERCOLADA

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido

Cliente :	<i>Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.</i>
Endereço :	<i>Av. Nicolau Cesarino , 2297 – Ponte Alta – Extrema – MG</i>
Número da Amostra :	<i>11178CS/07</i>
Tipo de Amostra :	<i>Líquido Percolado – Asfalto – Trecho 1</i>
Data/Hora Coleta :	<i>15/05/2007 – 14:00 hs</i>
Data/Hora Entrada no Laboratório :	<i>15/05/2007 – 17:00 hs</i>
Coletado por :	<i>Téc. Marcelo Donizete Januário</i>

Normas Utilizadas.

NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação.
NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento.
Métodos de análise constantes do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20º ed. APHA, AWWA e WPCF

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Arsênio	mg/l	1,0	0,013	ND
Bário	mg/l	70,0	0,125	0,50
Cádmio	mg/l	0,5	0,003	ND
Chumbo	mg/l	1,0	0,008	ND
Cromo Total	mg/l	5,0	0,025	0,05
Fluoreto	mg/l	150,0	0,500	ND
Mercúrio	mg/l	0,1	0,003	ND
Prata	mg/l	5,0	0,025	ND
Selênio	mg/l	1,0	0,025	ND

VMP : Valor máximo permissível - anexo F da NBR 10.004/2004

LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Lixiviação

Solução de Extração	-----
Teor de Sólidos Secos	-----
pH do Extrato Lixiviado	-----
Tempo de Lixiviação	-----
Volume dos Líquidos Obtidos	-----

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Solubilização (NBR 10.006/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Alumínio	mg/l	0,20	0,025	0,80
Arsênio	mg/l	0,01	0,013	ND
Bário	mg/l	0,70	0,125	0,50
Cádmio	mg/l	0,005	0,003	ND
Chumbo	mg/l	0,01	0,008	ND
Cianeto	mg/l	0,07	0,025	ND
Cloreto	mg/l	250,0	2,500	50,0
Cobre	mg/l	2,00	0,025	0,40
Cromo Total	mg/l	0,05	0,025	0,05
Fenóis Totais	mg/l	0,01	0,025	ND
Ferro	mg/l	0,3	0,025	6,93
Fluoreto	mg/l	1,5	0,500	ND
Manganês	mg/l	0,1	0,025	0,05
Mercurio	mg/l	0,001	0,003	ND
Nitrato	mg/l	10,0	0,025	ND
Prata	mg/l	0,05	0,025	ND
Selênio	mg/l	0,01	0,025	ND
Sódio	mg/l	200,0	0,250	20,0
Sulfato	mg/l	250,0	2,500	62,0
Surfactantes	mg/l	0,5	0,500	ND
Zinco	mg/l	5,0	0,025	0,35

VMP : Valor máximo permissível - anexo G da NBR 10.004/2004

LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Solubilização

Teor de Umidade	-----
pH do Extrato Solubilizado	-----
Tempo de Solubilização	-----

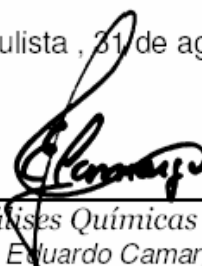
KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Observações

Volume inicial da amostra : 1200 ml
Volume final , após diluição : 3000 ml

Bragança Paulista , 31 de agosto de 2007



KZ Análises Químicas Ltda
José Eduardo Camargo
CRQ - IV Reg. 04.425.956

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido

Cliente : ***Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.***

Endereço : ***Av. Nicolau Cesarino , 2297 – Ponte Alta – Extrema – MG***

Número da Amostra : ***11179CS/07***

Tipo de Amostra : ***Líquido Percolado – Asfalto – Trecho 3***

Data/Hora Coleta : ***15/05/2007 – 14:15 hs***

Data/Hora Entrada no Laboratório : ***15/05/2007 – 17:00 hs***

Coletado por : ***Téc. Marcelo Donizete Januário***

Normas Utilizadas.

NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação.

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.

NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento.

NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento.

Métodos de análise constantes do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20º ed. APHA, AWWA e WPCF

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Arsênio	mg/l	1,0	0,022	ND
Bário	mg/l	70,0	0,215	1,00
Cádmio	mg/l	0,5	0,004	ND
Chumbo	mg/l	1,0	0,013	ND
Cromo Total	mg/l	5,0	0,043	0,129
Fluoreto	mg/l	150,0	0,860	ND
Mercúrio	mg/l	0,1	0,004	ND
Prata	mg/l	5,0	0,043	ND
Selênio	mg/l	1,0	0,043	ND

VMP : Valor máximo permissível - anexo F da NBR 10.004/2004

LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Lixiviação

Solução de Extração	-----
Teor de Sólidos Secos	-----
pH do Extrato Lixiviado	-----
Tempo de Lixiviação	-----
Volume dos Líquidos Obtidos	-----

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Solubilização (NBR 10.006/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Alumínio	mg/l	0,20	0,043	1,10
Arsênio	mg/l	0,01	0,022	ND
Bário	mg/l	0,70	0,215	0,40
Cádmio	mg/l	0,005	0,004	ND
Chumbo	mg/l	0,01	0,013	ND
Cianeto	mg/l	0,07	0,043	ND
Cloreto	mg/l	250,0	4,300	60,0
Cobre	mg/l	2,00	0,043	0,60
Cromo Total	mg/l	0,05	0,043	0,129
Fenóis Totais	mg/l	0,01	0,043	ND
Ferro	mg/l	0,3	0,043	20,47
Fluoreto	mg/l	1,5	0,860	ND
Manganês	mg/l	0,1	0,043	0,06
Merúrio	mg/l	0,001	0,004	ND
Nitrato	mg/l	10,0	0,043	ND
Prata	mg/l	0,05	0,043	ND
Selênio	mg/l	0,01	0,043	ND
Sódio	mg/l	200,0	0,430	30,0
Sulfato	mg/l	250,0	4,300	70,0
Surfactantes	mg/l	0,5	0,860	ND
Zinco	mg/l	5,0	0,043	0,52

VMP : Valor máximo permissível - anexo G da NBR 10.004/2004

LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Solubilização

Teor de Umidade	-----
pH do Extrato Solubilizado	-----
Tempo de Solubilização	-----

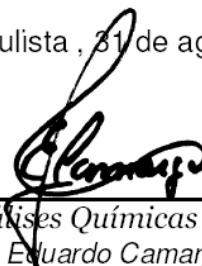
KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Observações

Volume inicial da amostra : 700 ml
Volume final , após diluição : 3000 ml

Bragança Paulista , 31 de agosto de 2007



KZ Análises Químicas Ltda
José Eduardo Camargo
CRQ - IV Reg. 04.425.956

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido

Cliente : ***Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.***

Endereço : ***Av. Nicolau Cesarino , 2297 – Ponte Alta – Extrema – MG***

Número da Amostra : ***11180CS/07***

Tipo de Amostra : ***Líquido Percolado – Asfalto – Trecho 5***

Data/Hora Coleta : ***15/05/2007 – 14:30 hs***

Data/Hora Entrada
no Laboratório : ***15/05/2007 – 17:00 hs***

Coletado por : ***Téc. Marcelo Donizete Januário***

Normas Utilizadas.

NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação.

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.

NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento.

NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento.

Métodos de análise constantes do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20° ed. APHA, AWWA e WPCF

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Arsênio	mg/l	1,0	0,015	ND
Bário	mg/l	70,0	0,150	0,80
Cádmio	mg/l	0,5	0,003	ND
Chumbo	mg/l	1,0	0,009	ND
Cromo Total	mg/l	5,0	0,030	0,06
Fluoreto	mg/l	150,0	0,600	ND
Mercúrio	mg/l	0,1	0,003	ND
Prata	mg/l	5,0	0,030	ND
Selênio	mg/l	1,0	0,030	ND

VMP : Valor máximo permissível - anexo F da NBR 10.004/2004
LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Lixiviação

Solução de Extração	-----
Teor de Sólidos Secos	-----
pH do Extrato Lixiviado	-----
Tempo de Lixiviação	-----
Volume dos Líquidos Obtidos	-----

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Solubilização (NBR 10.006/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Alumínio	mg/l	0,20	0,030	0,95
Arsênio	mg/l	0,01	0,015	ND
Bário	mg/l	0,70	0,150	0,30
Cádmio	mg/l	0,005	0,003	ND
Chumbo	mg/l	0,01	0,009	ND
Cianeto	mg/l	0,07	0,030	ND
Cloreto	mg/l	250,0	3,000	72,0
Cobre	mg/l	2,00	0,030	0,48
Cromo Total	mg/l	0,05	0,030	0,06
Fenóis Totais	mg/l	0,01	0,030	ND
Ferro	mg/l	0,3	0,030	34,32
Fluoreto	mg/l	1,5	0,600	ND
Manganês	mg/l	0,1	0,030	0,10
Merúrio	mg/l	0,001	0,003	ND
Nitrato	mg/l	10,0	0,030	ND
Prata	mg/l	0,05	0,030	ND
Selênio	mg/l	0,01	0,030	ND
Sódio	mg/l	200,0	0,300	28,0
Sulfato	mg/l	250,0	3,000	74,0
Surfactantes	mg/l	0,5	0,600	ND
Zinco	mg/l	5,0	0,030	0,72

VMP : Valor máximo permissível - anexo G da NBR 10.004/2004

LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Solubilização

Teor de Umidade	-----
pH do Extrato Solubilizado	-----
Tempo de Solubilização	-----

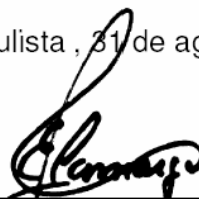
KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Observações

Volume inicial da amostra : 1000 ml
Volume final , após diluição : 3000 ml

Bragança Paulista , 31 de agosto de 2007



KZ Análises Químicas Ltda
José Eduardo Camargo
CRQ - IV Reg. 04.425.956

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido

Cliente :	Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.
Endereço :	Av. Nicolau Cesarino , 2297 – Ponte Alta – Extrema – MG
Número da Amostra :	11181CS/07
Tipo de Amostra :	Liquido Percolado – Asfalto – Trecho 7
Data/Hora Coleta :	15/05/2007 – 14:45 hs
Data/Hora Entrada no Laboratório :	15/05/2007 – 17:00 hs
Coletado por :	Téc. Marcelo Donizete Januário

Normas Utilizadas.

NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação.
NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento.
Métodos de análise constantes do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20° ed. APHA, AWWA e WPCF

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Arsênio	mg/l	1,0	0,009	ND
Bário	mg/l	70,0	0,094	0,80
Cádmio	mg/l	0,5	0,002	ND
Chumbo	mg/l	1,0	0,006	ND
Cromo Total	mg/l	5,0	0,019	0,056
Fluoreto	mg/l	150,0	0,376	ND
Mercúrio	mg/l	0,1	0,002	ND
Prata	mg/l	5,0	0,019	ND
Selênio	mg/l	1,0	0,019	ND

VMP : Valor máximo permissível - anexo F da NBR 10.004/2004
LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Lixiviação

Solução de Extração	-----
Teor de Sólidos Secos	-----
pH do Extrato Lixiviado	-----
Tempo de Lixiviação	-----
Volume dos Líquidos Obtidos	-----

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Solubilização (NBR 10.006/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Alumínio	mg/l	0,20	0,019	0,71
Arsênio	mg/l	0,01	0,009	ND
Bário	mg/l	0,70	0,094	0,20
Cádmio	mg/l	0,005	0,002	ND
Chumbo	mg/l	0,01	0,006	ND
Cianeto	mg/l	0,07	0,019	ND
Cloreto	mg/l	250,0	1,880	52,0
Cobre	mg/l	2,00	0,019	0,28
Cromo Total	mg/l	0,05	0,019	0,056
Fenóis Totais	mg/l	0,01	0,019	ND
Ferro	mg/l	0,3	0,019	16,47
Fluoreto	mg/l	1,5	0,376	ND
Manganês	mg/l	0,1	0,019	0,05
Merúrio	mg/l	0,001	0,002	ND
Nitrato	mg/l	10,0	0,019	ND
Prata	mg/l	0,05	0,019	ND
Selênio	mg/l	0,01	0,019	ND
Sódio	mg/l	200,0	0,188	31,0
Sulfato	mg/l	250,0	1,880	68,0
Surfactantes	mg/l	0,5	0,376	ND
Zinco	mg/l	5,0	0,019	0,25

VMP : Valor máximo permissível - anexo G da NBR 10.004/2004

LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Solubilização

Teor de Umidade	-----
pH do Extrato Solubilizado	-----
Tempo de Solubilização	-----

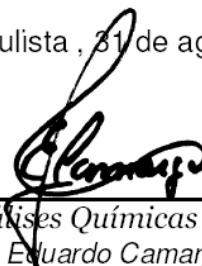
KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Observações

Volume inicial da amostra : 1600 ml
Volume final , após diluição : 3000 ml

Bragança Paulista , 31 de agosto de 2007



KZ Análises Químicas Ltda
José Eduardo Camargo
CRQ - IV Reg. 04.425.956

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido

Cliente : ***Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.***

Endereço : ***Av. Nicolau Cesarino , 2297 – Ponte Alta – Extrema – MG***

Número da Amostra : ***11182CS/07***

Tipo de Amostra : ***Líquido Percolado – Asfalto – Trecho 9***

Data/Hora Coleta : ***15/05/2007 – 15:00 hs***

Data/Hora Entrada no Laboratório : ***15/05/2007 – 17:00 hs***

Coletado por : ***Téc. Marcelo Donizete Januário***

Normas Utilizadas.

NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação.

NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.

NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento.

NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento.

Métodos de análise constantes do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20º ed. APHA, AWWA e WPCF

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Arsênio	mg/l	1,0	0,030	ND
Bário	mg/l	70,0	0,300	2,00
Cádmio	mg/l	0,5	0,006	ND
Chumbo	mg/l	1,0	0,018	ND
Cromo Total	mg/l	5,0	0,060	0,12
Fluoreto	mg/l	150,0	1,200	ND
Mercúrio	mg/l	0,1	0,006	ND
Prata	mg/l	5,0	0,060	ND
Selênio	mg/l	1,0	0,060	ND

VMP : Valor máximo permissível - anexo F da NBR 10.004/2004
LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Lixiviação

Solução de Extração	-----
Teor de Sólidos Secos	-----
pH do Extrato Lixiviado	-----
Tempo de Lixiviação	-----
Volume dos Líquidos Obtidos	-----

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Solubilização (NBR 10.006/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	LD	Resultado
Alumínio	mg/l	0,20	0,060	1,30
Arsênio	mg/l	0,01	0,030	ND
Bário	mg/l	0,70	0,300	ND
Cádmio	mg/l	0,005	0,006	ND
Chumbo	mg/l	0,01	0,018	ND
Cianeto	mg/l	0,07	0,060	ND
Cloreto	mg/l	250,0	6,000	85,0
Cobre	mg/l	2,00	0,060	0,66
Cromo Total	mg/l	0,05	0,060	0,12
Fenóis Totais	mg/l	0,01	0,060	ND
Ferro	mg/l	0,3	0,060	20,16
Fluoreto	mg/l	1,5	1,200	ND
Manganês	mg/l	0,1	0,060	ND
Merúrio	mg/l	0,001	0,006	ND
Nitrato	mg/l	10,0	0,060	ND
Prata	mg/l	0,05	0,060	ND
Selênio	mg/l	0,01	0,060	ND
Sódio	mg/l	200,0	0,600	45,0
Sulfato	mg/l	250,0	6,000	96,0
Surfactantes	mg/l	0,5	1,200	ND
Zinco	mg/l	5,0	0,060	1,20

VMP : Valor máximo permissível - anexo G da NBR 10.004/2004

LD – Limite de Detecção ; NR – Não Realizado ; ND : não detectado

Dados Relativos ao Ensaio de Solubilização

Teor de Umidade	-----
pH do Extrato Solubilizado	-----
Tempo de Solubilização	-----

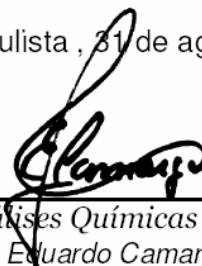
KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Observações

Volume inicial da amostra : 500 ml
Volume final , após diluição : 3000 ml

Bragança Paulista , 31 de agosto de 2007



KZ Análises Químicas Ltda
José Eduardo Camargo
CRQ - IV Reg. 04.425.956

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido

Cliente :	<i>Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.</i>
Endereço :	<i>Av. Nicolau Cesarino , 2297 – Ponte Alta – Extrema – MG</i>
Número da Amostra :	<i>11494CS/07</i>
Tipo de Amostra :	<i>Asfalto - QF</i>
Data/Hora Coleta :	<i>17/07/2007</i>
Data/Hora Entrada no Laboratório :	<i>17/07/2007 – 16:00 hs</i>
Coletado por :	<i>Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.</i>

Normas Utilizadas.

NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação.
NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento.
Métodos de análise constantes do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20º ed. APHA, AWWA e WPCF

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	Resultado
Arsênio	mg/l	1,0	< 0,01
Bário	mg/l	70,0	2,00
Cádmio	mg/l	0,5	0,004
Chumbo	mg/l	1,0	0,005
Cromo Total	mg/l	5,0	0,03
Fluoreto	mg/l	150,0	< 0,20
Mercúrio	mg/l	0,1	< 0,01
Prata	mg/l	5,0	< 0,01
Selênio	mg/l	1,0	< 0,01
Alumínio	mg/l	-----	1,20
Ferro	mg/l	-----	9,02

VMP : Valor máximo permissível - anexo F da NBR 10.004/2004

Dados Relativos ao Ensaio de Lixiviação

Solução de Extração	1
Teor de Sólidos Secos	99,81 %
pH do Extrato Lixiviado	4,95
Tempo de Lixiviação	18 horas
Volume dos Líquidos Obtidos	< 1 ml

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Solubilização (NBR 10.006/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	Resultado
Alumínio	mg/l	0,20	0,25
Arsênio	mg/l	0,01	< 0,01
Bário	mg/l	0,70	0,10
Cádmio	mg/l	0,005	< 0,001
Chumbo	mg/l	0,01	0,003
Cianeto	mg/l	0,07	< 0,01
Cloreto	mg/l	250,0	62,0
Cobre	mg/l	2,00	0,20
Cromo Total	mg/l	0,05	< 0,01
Fenóis Totais	mg/l	0,01	< 0,01
Ferro	mg/l	0,3	0,38
Fluoreto	mg/l	1,5	< 0,20
Manganês	mg/l	0,1	0,10
Mercurio	mg/l	0,001	< 0,001
Nitrato	mg/l	10,0	0,90
Prata	mg/l	0,05	< 0,01
Selênio	mg/l	0,01	< 0,01
Sódio	mg/l	200,0	92,0
Sulfato	mg/l	250,0	88,5
Surfactantes	mg/l	0,5	< 0,20
Zinco	mg/l	5,0	0,23

VMP : Valor máximo permissível - anexo G da NBR 10.004/2004

Dados Relativos ao Ensaio de Solubilização

Teor de Umidade	0,19 %
pH do Extrato Solubilizado	7,64
Tempo de Solubilização	7 dias

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

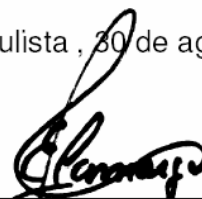
Conclusão

Conforme os dados obtidos nos ensaios - *Lixiviação e Solubilização* - podemos sugerir a caracterização do resíduo :

Asfalto - QF

como ***Classe II B – Inerte.***

Bragança Paulista , 30 de agosto de 2007



KZ Análises Químicas Ltda
José Eduardo Camargo
CRQ - IV Reg. 04.425.956

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido

Cliente :	<i>Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.</i>
Endereço :	<i>Av. Nicolau Cesarino , 2297 – Ponte Alta – Extrema – MG</i>
Número da Amostra :	<i>11495CS/07</i>
Tipo de Amostra :	<i>Asfalto - FN</i>
Data/Hora Coleta :	<i>17/07/2007</i>
Data/Hora Entrada no Laboratório :	<i>17/07/2007 – 16:00 hs</i>
Coletado por :	<i>Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.</i>

Normas Utilizadas.

NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação.
NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento.
Métodos de análise constantes do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20° ed. APHA, AWWA e WPCF

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	Resultado
Arsênio	mg/l	1,0	< 0,01
Bário	mg/l	70,0	5,00
Cádmio	mg/l	0,5	0,002
Chumbo	mg/l	1,0	0,002
Cromo Total	mg/l	5,0	0,01
Fluoreto	mg/l	150,0	< 0,20
Mercúrio	mg/l	0,1	< 0,01
Prata	mg/l	5,0	< 0,01
Selênio	mg/l	1,0	< 0,01
Alumínio	mg/l	-----	0,70
Ferro	mg/l	-----	8,11

VMP : Valor máximo permissível - anexo F da NBR 10.004/2004

Dados Relativos ao Ensaio de Lixiviação

Solução de Extração	1
Teor de Sólidos Secos	99,84 %
pH do Extrato Lixiviado	4,99
Tempo de Lixiviação	18 horas
Volume dos Líquidos Obtidos	< 1 ml

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Solubilização (NBR 10.006/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	Resultado
Alumínio	mg/l	0,20	0,18
Arsênio	mg/l	0,01	< 0,01
Bário	mg/l	0,70	0,05
Cádmio	mg/l	0,005	< 0,001
Chumbo	mg/l	0,01	0,001
Cianeto	mg/l	0,07	< 0,01
Cloreto	mg/l	250,0	78,0
Cobre	mg/l	2,00	0,10
Cromo Total	mg/l	0,05	< 0,01
Fenóis Totais	mg/l	0,01	< 0,01
Ferro	mg/l	0,3	0,33
Fluoreto	mg/l	1,5	< 0,20
Manganês	mg/l	0,1	0,08
Merúrio	mg/l	0,001	< 0,001
Nitrato	mg/l	10,0	1,00
Prata	mg/l	0,05	< 0,01
Selênio	mg/l	0,01	< 0,01
Sódio	mg/l	200,0	79,0
Sulfato	mg/l	250,0	71,5
Surfactantes	mg/l	0,5	< 0,20
Zinco	mg/l	5,0	0,30

VMP : Valor máximo permissível - anexo G da NBR 10.004/2004

Dados Relativos ao Ensaio de Solubilização

Teor de Umidade	0,16 %
pH do Extrato Solubilizado	7,65
Tempo de Solubilização	7 dias

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

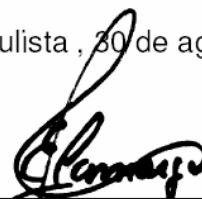
Conclusão

Conforme os dados obtidos nos ensaios - *Lixiviação e Solubilização* - podemos sugerir a caracterização do resíduo :

Asfalto - FN

como ***Classe II B – Inerte.***

Bragança Paulista , 30 de agosto de 2007



KZ Análises Químicas Ltda
José Eduardo Camargo
CRQ - IV Reg. 04.425.956

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Caracterização e Classificação de Resíduo Sólido

Cliente :	<i>Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.</i>
Endereço :	<i>Av. Nicolau Cesarino , 2297 – Ponte Alta – Extrema – MG</i>
Número da Amostra :	<i>11496CS/07</i>
Tipo de Amostra :	<i>Asfalto - FF</i>
Data/Hora Coleta :	<i>17/07/2007</i>
Data/Hora Entrada no Laboratório :	<i>17/07/2007 – 16:00 hs</i>
Coletado por :	<i>Fagor Ederlan Brasileira Auto-Peças Ltda.</i>

Normas Utilizadas.

NBR 10.004/2004 - Resíduos Sólidos – Classificação.
NBR 10.005/2004 - Lixiviação de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.006/2004 - Solubilização de Resíduos – Procedimento.
NBR 10.007/2004 - Amostragem de Resíduos – Procedimento.
Métodos de análise constantes do “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20° ed. APHA, AWWA e WPCF

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Lixiviação (NBR 10.005/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	Resultado
Arsênio	mg/l	1,0	< 0,01
Bário	mg/l	70,0	3,00
Cádmio	mg/l	0,5	0,003
Chumbo	mg/l	1,0	0,004
Cromo Total	mg/l	5,0	0,02
Fluoreto	mg/l	150,0	< 0,20
Mercúrio	mg/l	0,1	< 0,01
Prata	mg/l	5,0	< 0,01
Selênio	mg/l	1,0	< 0,01
Alumínio	mg/l	-----	0,90
Ferro	mg/l	-----	10,25

VMP : Valor máximo permissível - anexo F da NBR 10.004/2004

Dados Relativos ao Ensaio de Lixiviação

Solução de Extração	1
Teor de Sólidos Secos	99,84 %
pH do Extrato Lixiviado	5,03
Tempo de Lixiviação	18 horas
Volume dos Líquidos Obtidos	< 1 ml

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

Ensaio de Solubilização (NBR 10.006/2004)

Parâmetro	Unidade	VMP	Resultado
Alumínio	mg/l	0,20	0,23
Arsênio	mg/l	0,01	< 0,01
Bário	mg/l	0,70	0,08
Cádmio	mg/l	0,005	0,001
Chumbo	mg/l	0,01	0,002
Cianeto	mg/l	0,07	< 0,01
Cloreto	mg/l	250,0	94,0
Cobre	mg/l	2,00	0,24
Cromo Total	mg/l	0,05	< 0,01
Fenóis Totais	mg/l	0,01	< 0,01
Ferro	mg/l	0,3	0,43
Fluoreto	mg/l	1,5	< 0,20
Manganês	mg/l	0,1	0,10
Mercurio	mg/l	0,001	< 0,001
Nitrato	mg/l	10,0	1,10
Prata	mg/l	0,05	< 0,01
Selênio	mg/l	0,01	< 0,01
Sódio	mg/l	200,0	62,0
Sulfato	mg/l	250,0	82,0
Surfactantes	mg/l	0,5	< 0,20
Zinco	mg/l	5,0	0,23

VMP : Valor máximo permissível - anexo G da NBR 10.004/2004

Dados Relativos ao Ensaio de Solubilização

Teor de Umidade	0,16 %
pH do Extrato Solubilizado	7,70
Tempo de Solubilização	7 dias

KZ Análises Químicas Ltda

CRQ IV Região 11.013 F - CNPJ : 00.690.994/0001-15
Alameda Marajó , 120 – Residencial das Ilhas – Bragança Pta. – SP – CEP 12.913-038 - Telefax : (11) 4034-1830
Laboratório : Rua Nazareno Rossi , 1.625 – Bairro do Tanque – Atibaia – SP - Telefax : (11) 4416-2290
E-mail : kz.kz@uol.com.br

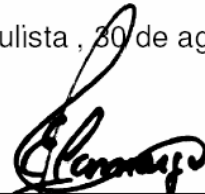
Conclusão

Conforme os dados obtidos nos ensaios - *Lixiviação e Solubilização* - podemos sugerir a caracterização do resíduo :

Asfalto - FF

como ***Classe II B – Inerte.***

Bragança Paulista , 30 de agosto de 2007



KZ Análises Químicas Ltda
José Eduardo Camargo
CRQ - IV Reg. 04.425.956

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)