

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE
ÁREA DE GEOTECNIA

**UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTUDO DA SUSCEPTIBILIDADE DO
CONCRETO ASFÁLTICO À PRESENÇA D'ÁGUA**

Por:

MACEL WALLACE QUEIROZ FERNANDES

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande-PB, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.**

Campina Grande – Paraíba

Março de 2007

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

F363u
2007

Fernandes, Macel Wallace Queiroz

Utilização de resíduos sólidos no estudo da susceptibilidade do concreto asfáltico à presença d'água / Macel Wallace Queiroz Fernandes. – Campina Grande, 2007.

93f.: il.

Referências.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: John Kennedy Guedes Rodrigues e João Batista Queiroz de Carvalho.

1 - Pavimentação 2 - Resíduo 3 - Filler 4 - Susceptibilidade das Misturas Asfálticas I - Título

CDU 625.85

MACEL WALLACE QUEIROZ FERNANDES

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia da
Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, como parte
dos requisitos necessários para obtenção do título de **MESTRE EM**
ENGENHARIA CIVIL

Área de Concentração – Geotecnia

Prof. Dr. John Kennedy Guedes Rodrigues
Orientador

Campina Grande, Março de 2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Macel Wallace Queiroz Fernandes

**Título: UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTUDO DA SUSCEPTIBILIDADE DO
CONCRETO ASFÁLTICO À PRESENÇA D'ÁGUA.**

Dissertação defendida e aprovada em: 26/03/2007

Banca Examinadora

(Assinatura)

**Prof. D.Eng. (Orientador) John Kennedy Guedes Rodrigues
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEC**

(Assinatura)

**Prof. PhD. (Co-orientador) João Batista Queiroz de Carvalho
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEC**

(Assinatura)

**Profª. D.Eng. (Examinador externo) Sandra Oda
Universidade Salvador – UNIFACS**

(Assinatura)

**Profª. D.Eng. (Examinador externo) Suelly Helena de Araújo Barroso
Universidade Federal do Ceará – UFC**

DEDICATÓRIA

A Deus, pela oportunidade de viver este momento.

Aos meus pais, Vanderlei Wallace Maria Lúcia.

Aos meus Irmãos, Dennis Wallace e Liz Wallace.

À minha Tia, Maria Zilda Ramos de Queiroz.

À minha esposa, Lisiane Macedo Queiroz.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, autor e consumidor da minha vida, por ter me iluminado e me dado força em todos os momentos.

Ao Professor Dr. Kennedy Guedes Rodrigues por todo direcionamento, orientação, motivação, confiança e atenção nas horas difíceis.

À ATECEL pela disponibilidade do laboratório e fornecimento de equipamentos e recursos para o desenvolvimento do trabalho, bem como seus colaboradores.

Ao Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da UFCG e a Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

Ao Professor PhD João Batista Queiroz de Carvalho.

Aos amigos: Frankneto Cordeiro, Fábio Sousa, Hermes Melo, Carlos André, Pedro Nogueira e outros que deram sua contribuição em particular.

Às alunas de graduação em Engenharia Civil, Lucyene Guimarães e Leda Christiane Lucena.

Aos funcionários das áreas de Geotecnia e estruturas: Rui Pereira de Oliveira, José Nivaldo Sobreira.

Ao departamento de Engenharia de Materiais.

E a todos que colaboram direta e indiretamente para que este trabalho pudesse se concretizar.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o estudo da viabilidade técnica da utilização dos resíduos sólidos, com origem na produção do Caulim e de Rochas Ornamentais, como agregado miúdo e fileres para minimizar a susceptibilidade à presença de água de misturas asfálticas. Ambos são responsáveis e/ou citados como fonte poluidora do meio ambiente no Estado da Paraíba. Esta proposta parte do pressuposto que sua utilização reduzirá custos para a pavimentação rodoviária, bem como deverá servir para reaproveitar, de forma ambientalmente adequada, materiais tóxicos e não inertes gerados pelo setor de pequenas e médias indústrias no Estado da Paraíba. Foram realizados ensaios para a caracterização dos materiais, ensaios com o mastic e ensaios com as misturas asfálticas, dentre eles destacam-se: espectroscopia por absorção atômica, análise química, análise termogravimétrica, análise térmica diferencial, difração de raios-X, granulometria por difração a laser, viscosidade Saybolt-Furol, penetração, tração por compressão diametral, Lottman Modificado e Marshall. Os resultados indicam que ambos os fileres tornam a mistura asfáltica menos susceptível a presença de água, com ênfase para o resíduo do Caulim, o qual proporciona uma mistura mais flexível, e com uma menor probabilidade de trincas por fadiga de forma prematura durante sua vida útil.

Palavras Chave: Resíduo, filer, susceptibilidade, pavimentação.

ABSTRACT

This study considered the technical viability of the use of solid residues from the kaolin and ornamental rock industries, reported in the literature as pollutants in Paraíba, as small aggregate and filler to minimize the susceptibility to water of asphalt mixtures. These residues utilization may reduce costs of road pavement and find an environmentally correct destiny to toxic and non inert materials generated by small and medium industries of Paraíba. Several laboratory tests were carried out to characterize the residues, the "mastiç" and the asphalt mixtures, such as atomic absorption spectrometry, chemical, thermogravimetric and differential thermic analyses, X-ray diffraction, laser diffraction granulometry, Saybolt-Furol viscosity, penetration, traction from diametric compression, modified Lottman and Marshall tests. Data analyses showed that both residues render the asphalt mixture less susceptible to water action, specially the kaolin residue. The asphalt mixture with this residue is more flexible and less prone to crack due to premature material fatigue, extending the lifetime of pavements.

Keywords: Residue, filler, susceptibility, paving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Defeito em revestimento asfáltico: trinca em forma de couro de jacaré [Fonte própria].....	7
Figura 2.2 – Defeito em revestimento asfáltico: panela [Fonte própria].....	8
Figura 2.3 - Defeito em revestimento asfáltico: desagregação [Fonte própria]	8
Figura 2.4 - Defeito em revestimento asfáltico: afundamento de trilha de roda [Fonte própria]	9
Figura 2.5 - Relação entre a rigidez e a fração volumétrica máxima de filer (Shashidar e Shenoy, 2002)	30
Figura 2.6 - Tanque de disposição final da empresa Polygram S/A [Fonte própria].....	39
Figura 2.7 - Tanques utilizados para a decantação e sedimentação do Caulim [Fonte própria]	44
Figura 2.8 - Prensa e armazenamento do Caulim em forma de blocos [Fonte própria]	45
Figura 2.9 - Tipo de forno utilizado na secagem do Caulim [Fonte própria]	45
Figura 2.10 - Impacto ambiental no processo de beneficiamento do Caulim – BR-230 no Município de Soledade, PB [Fonte própria]	47
Figura 2.11 - Resíduos de Caulim Lançados no Meio Ambiente, sem Critérios de Proteção Ambiental, às Margens da BR-230 no Município de Soledade, PB [Fonte própria]	47
Figura 3.1 – Agregado do tipo granítico – Brita 19 ou ¾” [Fonte própria]	50
Figura 3.2 - Agregado do tipo quartzosa – Areia de rio [Fonte própria].....	50
Figura 3.3 – (a) Caulim utilizado como agregado miúdo, (b) Caulim utilizado como filer [Fonte própria]	51
Figura 3.4 – Serragem do granito [Fonte própria].....	51
Figura 3.5 – Cimento asfáltico de petróleo utilizado na pesquisa (CAP) [Fonte própria]	52
Figura 3.6 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de difração a laser [Fonte própria].....	54
Figura 3.7 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de Análise termogravimétrica [Fonte própria].....	54
Figura 3.8 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de Difração de raios-x [Fonte própria]	54
Figura 3.9 † Equipamentos utilizados para obtenção dos extratos lixiviado e solubilizado dos materiais utilizados na pesquisa [Fonte própria].....	55
Figura 3.10 – Equipamentos utilizados para realização dos ensaios de análises químicas por Espectrofotometria por Absorção Atômica [Fonte própria].....	56
Figura 3.11 - Equipamentos util	

Figura 4.7 - Difração de raios-x do resíduo do Caulim	70
Figura 4.8 - Difração de raios-x do resíduo do Caulim	71
Figura 4.9 - Valor da penetração em função da variação dos incrementos de percentuais dos fileres	74
Figura 4.10 - Viscosidade Saybolt Furol em função da variação dos incrementos dos fileres	75
Figura 4.11 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com “Areia Caulim” e Filer Caulim [com e sem imersão em água (3CP)]	77
Figura 4.12 - Média dos valores de Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com “Areia Caulim” e Filer Caulim [com e sem imersão em água].....	78
Figura 4.13 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com Filer Serragem de Granito [com e sem imersão / 3CP]	78
Figura 4.14 - Média dos valores de Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com Filer Serragem de Granito [com e sem imersão].....	78
Figura 4.15 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com os fileres Caulim e Serragem de Granito [com e sem imersão em água (3CP)]	79
Figura 4.16 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com areia Caulim e filer Caulim [com e sem imersão em água (3CP)]	80
Figura 4.17 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com filer Serragem de Granito [com e sem imersão em água (3CP)]	81
Figura 4.18 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com os resíduos de Caulim e Serragem de Granito [com e sem imersão em água (3CP)]	81
Figura 4.19 – Resistência à tração diametral indireta para o filer Caulim - 2CP	82
Figura 4.20 – Resistência à tração diametral indireta para o filer Serragem de Granito - 2CP.....	82
Figura 4.21 – Resistência à tração diametral indireta para os filerEs Caulim e de Serragem de Granito [2CP].....	83
Figura 4.22 – Relação da resistência retida à tração para os fileres Caulim e Serragem de Granito – 3CP.....	84
Figura 7.1 – Estabilidade em função do teor de CAP [filer Cal 5%].....	104
Figura 7.2 – Fluência em função do teor de CAP [filer Cal 5%].....	104
Figura 7.3 – Vazios em função do teor de CAP [filer Cal 5%].....	105
Figura 7.4 – Relação betume/vazios em função do teor de CAP [filer Cal 5%].....	105
Figura 7.5 – Peso específico em função do teor de CAP [filer Cal 5%]	106
Figura 7.6 – Estabilidade em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%].....	114
Figura 7.7 – Fluência em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]	114
Figura 7.8 – Vazios em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]	115
Figura 7.9 – Relação betume/vazios em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%].....	115
Figura 7.10 – Peso específico em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]	116
Figura 7.11 – Estabilidade em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%].....	123
Figura 7.12 – Fluência em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%].....	123
Figura 7.13 – Vazios em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%].....	124
Figura 7.14 – Relação betume/vazios em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%]	124
Figura 7.15 – Peso específico em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%].....	125
Figura 7.16 – Resistência à tração em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%].....	130
Figura 7.17 – Resistência retida à tração em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%].....	130

Figura 7.18 – Resistência à tração em função do percentual de filler Serragem de Granito [CAP 4,5%].....	134
Figura 7.19 – Resistência retida à tração em função do percentual de filler Serragem de Granito [CAP 4,5%].....	134
Figura 7.20 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos fileres obtidas por sedimentação.....	138
Figura 7.21 – Distribuição dos tamanhos das partículas do obtida por difração à laser [(a) resíduo do Caulim (b) serragem de granito]	140
Figura 7.22 – Aparelhos utilizados no ensaio de equivalente areia	144
Figura 7.23 – Ensaio de adesividade.....	144

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Hierarquia de gerenciamento de resíduos	33
Quadro 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas na elaboração do traço - CAULIM.....	76
Quadro 4.2 - Distribuição dos tamanhos das partículas na elaboração do traço –Serragem de Granito.....	76
Quadro 4.3 –Parâmetros para as misturas com o teor de 5% de filer	84
Quadro 7.1 –Elaboração do traço para o Piloto	96
Quadro 7.2 –Dosagem Marshall [5,0% Filer CAL e 4,5% CAP - (Piloto)].....	97
Quadro 7.3 –Dosagem Marshall [5,0% Filer CAL e 5,0% CAP - (Piloto)].....	98
Quadro 7.4 –Dosagem Marshall [5,0% Filer CAL e 5,5% CAP - (Piloto)].....	99
Quadro 7.5 –Dosagem Marshall [5,0% Filer CAL e 6,0% CAP - (Piloto)].....	100
Quadro 7.6 –Dosagem Marshall [5,0% Filer CAL e 6,5% CAP - (Piloto)].....	101
Quadro 7.7 –Dosagem Marshall [5,0% Filer CAL e 7,0% CAP - (Piloto)].....	102
Quadro 7.8 –Dosagem Marshall [5,0% Filer CAL e 7,5% CAP - (Piloto)].....	103
Quadro 7.9 –Elaboração do traço para o Caulim	108
Quadro 7.10 –Ensaio Marshall [3,0% de Filer Caulim]	109
Quadro 7.11 –Ensaio Marshall [4,0% de Filer Caulim]	110
Quadro 7.12 –Ensaio Marshall [5,0% de Filer Caulim]	111
Quadro 7.13 –Ensaio Marshall [6,0% de Filer Caulim]	112
Quadro 7.14 –Ensaio Marshall [7,0% de Filer Caulim]	113
Quadro 7.15 –Elaboração do traço para a Serragem de Granito	117
Quadro 7.16 –Ensaio Marshall [3,0% de Filer Serragem de Granito].....	118
Quadro 7.17 –Ensaio Marshall [4,0% de Filer Serragem de Granito].....	119
Quadro 7.18 –Ensaio Marshall [5,0% de Filer Serragem de Granito].....	120
Quadro 7.19 –Ensaio Marshall [6,0% de Filer Serragem de Granito].....	121
Quadro 7.20 –Ensaio Marshall [7,0% de Filer Serragem de Granito].....	122
Quadro 7.21 –Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [5,0% de Filer Caulim]	127
Quadro 7.22 –Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [6,0% de Filer Caulim]	128
Quadro 7.23 –Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [7,0% de Filer Caulim]	129
Quadro 7.24 –Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [5,0% de Filer Serragem de Granito].....	131
Quadro 7.25 –Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [6,0% de Filer Serragem de Granito].....	132
Quadro 7.26 –Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [7,0% de Filer Serragem de Granito].....	133
Quadro 7.27 - Ensaio de sedimentação do filer resíduo do caulim	136
Quadro 7.28 - Ensaio de sedimentação do filer Serragem de Granito	137
Quadro 7.29 –Espectrofotometria por absorção atômica.....	142
Quadro 7.30 - Ensaio de equivalente areia para o resíduo do Caulim.....	144

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 2.1 - Uso de materiais em um sistema econômico e as possibilidades de seu reaproveitamento [Fonte: MOLLER e BARROS (1995)]	37
Fluxograma 2.2 - Origem da serragem de blocos de granito [Fonte: GIUNTON (1993)]	37
Fluxograma 3.1 - Seqüência de atividades e de ensaios realizados na fase experimental da pesquisa	49
Fluxograma 3.2 - Seqüência adotada para o ensaio de penetração realizado na pesquisa	58
Fluxograma 3.3 - Seqüência adotada para o ensaio de viscosidade Saybolt Furol	59
Fluxograma 3.4 - Seqüência adotada para o ensaio Marshall	60
Fluxograma 3.5 - Seqüência para realização dos ensaios com o auxílio do pórtico de Lottman	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Ensaio Marshall – valores limites (DNIT – ES 313/97, 1997).....	18
Tabela 2.2 - Classificação dos Cimentos Asfálticos quanto à viscosidade e penetração (DNIT 031/04 - ES).....	25
Tabela 2.3 - Impactos durante o beneficiamento das Rochas Graníticas [Fonte: IBRAM (1992)]......	36
Tabela 3.1 - Normas utilizadas para caracterização dos agregados e fileres	53
Tabela 3.2 - Normas utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização do CAP	56
Tabela 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do Caulim - ensaio de sedimentação	65
Tabela 4.2 - Distribuição dos tamanhos das partículas da Serragem de Granito - ensaio de sedimentação.....	65
Tabela 4.3 - Massa específica real do resíduo do Caulim.....	68
Tabela 4.4 - Massa específica real da Serragem de Granito.....	68
Tabela 4.5 - Constituintes químicos encontrados nos extratos lixiviados dos resíduos de Caulim e de Serragem de Granito	72
Tabela 4.6 - Constituinte químicos encontrados nos extratos solubilizados dos resíduos de Caulim e de Serragem de Granito	72
Tabela 4.7 - Composição química do resíduo do Caulim no estado natural.....	72
Tabela 4.8 - Composição química da Serragem de Granito no estado natural	72
Tabela 4.9 - Composição química da Serragem de Granito após o tratamento de desferrização	73
Tabela 4.10 - Caracterização do CAP utilizado na pesquisa.....	73
Tabela 4.11 - Resultados obtidos para a penetração nas misturas CAP + filer	74
Tabela 4.12 - Resultados obtidos para a viscosidade Saybolt Furol.....	75

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SIMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ASSTHO	American Association of State Highway Officials
AT	Análise Térmica
ATD	Análise Termodiferencial
ATECEL	Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior
TG	Termogravimetria
AQ	Análise Química
CCT	Centro de Ciências e Tecnologia
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CP	Corpo-de-prova
DEC	Departamento de Engenharia Civil
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transporte
DNP	Departamento Nacional de Petróleo
ECS	Ensaio de Compressão Simples
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
RT ₁	Resistência à Tração sem condicionamento prévio
RT ₂	Resistência à Tração com condicionamento prévio
RRT	Relação da Resistência à Tração
SUPERPAVE	Superior Performing Asphalt Pavements
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - OBJETIVO.....	3
1.2 - Organização do Trabalho	3
CAPÍTULO 2	5
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 - SUSCEPTIBILIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS À PRESENÇA DE ÁGUA	5
2.1.1 - Definição.....	5
2.1.2 - Variáveis Relacionadas à Susceptibilidade das Misturas Asfálticas à Presença de Água	9
2.1.3 - Mecanismos Decorrentes da Presença de Água em Misturas Asfálticas.....	14
2.1.4 - Ensaio e Simulações.....	15
2.2 - PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA REDUZIR A PERDA DE ADESIVIDADE DAS MISTURAS ASFÁLTICAS ..	20
2.2.1 - Pavimento Drenante	21
2.2.2 - Aditivos	22
2.3 - ASFALTO	23
2.3.1 - Definição	23
2.3.2 - Composição Química do Asfalto.....	25
2.3.3 - Reologia do Asfalto	26
2.4 - FILER	27
2.5 - Concreto Asfáltico	30
2.6 - RESÍDUOS SÓLIDOS	32
2.6.1 - Gerenciamento de Resíduos Sólidos.....	33
2.6.2 - Classificação dos Resíduos Sólidos.....	34
2.7 - RESÍDUO PROVENIENTE DO PROCESSAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS	35
2.7.1 - Características Mineralógicas e Geológicas do Granito.....	38
2.7.2 - Caracterização do Resíduo da Serragem do Granito.....	38
2.7.3 - Utilização de Resíduos como Material Alternativo.....	40
2.8 - CAULIM	41
2.8.1 - Beneficiamento do Caulim.....	43
2.8.2 - Impactos Gerados pelo Resíduo Proveniente do Beneficiamento do Caulim.....	46
CAPÍTULO 3	49
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1 - MATERIAIS	50
3.1.1 - Agregado Graúdo	50
3.1.2 - Agregado Miúdo.....	50
3.1.3 - Resíduo de Caulim.....	51
3.1.4 - Serragem de Granito (Filer)	51
3.1.5 - Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)	52
3.2 - MÉTODOS	52

3.2.1 - Caracterização dos Materiais	52
3.2.2 - Ensaio com o Mastique.....	57
3.2.3 - Ensaio com as Misturas.....	59
CAPÍTULO 4.....	65
4 - RESULTADOS.....	65
4.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	65
4.1.1 - Distribuição dos Tamanhos dos Grãos dos Fileres.....	65
4.1.2 - Características Físicas do Agregado Graúdo	67
4.1.3 - Características Físicas dos Agregados Miúdos.....	67
4.1.4 - Massa Específica Real dos Fileres	68
4.1.5 - Análise Termogravimétrica e Termodiferencial	68
4.1.6 - Difração de Raios-X.....	70
4.1.7 - Espectrofotometria por Absorção Atômica.....	71
4.1.8 - Inertividade e Toxicidade dos Resíduos	71
4.1.9 - Análise Química.....	72
4.1.10 - Ensaio de Caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).....	73
4.2 - ENSAIOS COM O CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO E FILERES.....	73
4.2.1 - Ensaio de Penetração	73
4.2.2 - Ensaio de Viscosidade Saybolt Furol.....	74
4.3 - ENSAIOS COM MISTURAS DE AGREGADOS GRAÚDO E MIÚDO, FILERES E CAP.....	76
4.3.1 - Distribuição dos Tamanhos das Partículas dos Agregados e dos Fileres.....	76
4.3.2 - Dosagem do CAP	77
4.3.3 - Ensaio Marshall.....	77
4.3.4 - Ensaio de Tração Diametral Indireta	81
4.3.5 - Ensaio de Tração Diametral Modificada de Lottman.....	83
CAPÍTULO 5.....	85
5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE PESQUISAS POSTERIORES	85
5.1 - CONCLUSÕES	85
5.1.1 - Considerações Iniciais	85
5.1.2 - Conclusões Quanto aos Ensaio de Caracterização	85
5.1.3 - Conclusões Quanto aos Ensaio com o Mastique.....	86
5.1.4 - Conclusões Quanto aos Resultados dos Ensaio Marshall	86
5.1.5 - Conclusões Quanto aos Resultados dos Ensaio de Tração Diametral	86
5.1.6 - Conclusões quanto aos Resultados dos Ensaio de Espectrofotometria por Absorção Atômica.....	87
5.1.7 - Considerações Gerais	87
5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	87
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
7 - ANEXOS.....	94
7.1 - ANEXO A.....	95
7.1.1 - Dosagem Marshall	95
7.2 - Anexo B.....	107

7.2.1 - Ensaio Marshall.....	107
7.3 - Anexo C.....	126
7.3.1 - Ensaio com o Auxílio do Pórtico de Lottman.....	126
7.4 - Anexo D.....	135
7.4.1 - Ensaio de Sedimentação	135
7.5 - Anexo E.....	139
7.5.1 - Distribuição dos Tamanhos das Partículas por Difração à Laser.....	139
7.6 - Anexo F.....	141
7.6.1 - Espectrofotometria por Absorção Atômica.....	141
7.7 - Anexo G	143
7.7.1 - Equivalente Areia do Caulim e Adesividade do Agregado Graúdo	143

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO

Os pavimentos são estruturas construídas para resistir e distribuir ao subleito os esforços produzidos pelo tráfego. Tais características irão interferir na comodidade, segurança e durabilidade das superfícies de rolamento. Os parâmetros mencionados nem sempre são observados, visto que é comum a presença de desgastes no pavimento.

Muitos desses desgastes estão relacionados com a susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água, que é um dos principais agentes responsáveis por seu agravamento. Esta susceptibilidade pode ser definida como a perda de resistência e durabilidade das misturas asfálticas quando submetidas à presença prolongada e excessiva da água. Os danos irão ocorrer devido à perda de adesividade entre o cimento asfáltico ou mastique (asfalto mais filler) e os agregados miúdos e graúdos.

Os pavimentos que irão apresentar visivelmente uma perda de adesividade poderão ter seu desempenho reduzido e apresentar fissuras, afundamento de trilha de roda ou desagregações (Jones & Little, 2003). Corrigir tais falhas implica em gerar despesas para a manutenção e reparo do pavimento.

Apesar de grande parte das construtoras se preocuparem apenas com a produção das mistura, Valle & Trichês (1995), descreveram que apenas o bom dimensionamento do pavimento para um subleito não assegurará a resistência deste, já que ele pode vir a apresentar deformações que solicitem a flexão do pavimento provocando fissuras e dando início a processos de desagregação que será acelerado pela presença de água.

Isto corrobora com as observações feitas por Haini et al (2003) e D'Angelo & Anderson (2003) que se referem ao manejo e transporte inadequado e o refino do cimento asfáltico de petróleo como fatores que juntamente com o dimensionamento do pavimento irão alterar o comportamento do pavimento sob à presença de água e conseqüentemente podem facilitar, ou não, o aparecimento de falhas em sua estrutura.

Em locais onde geralmente há uma grande incidência de chuvas aliadas com a ação do tráfego, ocorre um aumento das fissuras do pavimento. Estas são causadas pela intemperização sobre os materiais, que expõem novas superfícies à ação físico-química em contato com a água, tornando os pavimentos mais frágeis. Isto evidencia a ação do clima na resistência dos pavimentos (MEDINA, 1997).

De acordo com Blóis et al (2003), as intempéries nos pavimentos são de extrema importância, pois pela ação do calor e da chuva, aliado à sobrecarga aplicada pelos veículos automotores, irá facilitar a presença de água no interior dos pavimentos o que provocará uma deterioração prematura destes. Os custos necessários para as atividades de conservação e manutenção das vias poderiam ser reduzidos se houvesse uma diminuição da susceptibilidade à presença de água devida à ação do meio sobre os pavimentos.

Com a deterioração do asfalto, a presença de sulcos e rachaduras irá facilitar o acúmulo de películas da água durante as grandes precipitações, diminuindo o contato entre o pneu e o pavimento e acarretando o fenômeno da aquaplanagem que torna os acidentes inevitáveis (PAIVA & SILVA, 2003).

Para evitar acidentes e gastos desnecessários com constantes manutenções do pavimento, há também a necessidade de estudos sobre os mecanismos de susceptibilidade à presença de água para definir as causas que provocam a perda de adesividade, entre o cimento asfáltico de petróleo (CAP) e os agregados e de coesão do CAP.

Através de ensaios previamente realizados pela comparação de amostras de misturas asfálticas, submetidas à ação da umidade, com amostras sem condicionamento, é possível avaliar a intensidade da atuação da presença de água na resistência à tração que as amostras poderão vir a apresentar. Na busca por entender o comportamento das misturas nas rodovias faz-se necessário à utilização de ensaios capazes de simular as condições climáticas e de carregamento que as misturas podem vir a ser submetidas.

Ao submeter corpos-de-prova de misturas asfálticas a ensaios e os resultados destes indicarem susceptibilidade a danos devido à presença de água, torna-se necessário à adoção de tratamentos (borracha triturada, dope, filler e etc.) que ao serem adicionados à mistura poderão promover o aumento da resistência destas.

Conforme salientado por Darocho (2001), a superfície dos pavimentos deve ter qualidade física que facilite a mobilidade veicular e relações físicas para que a transmissão dos esforços entre a superfície da via e os pneus dos veículos sejam coerentes com a segurança e o conforto da viagem. Uma das maneiras de atender às exigências mencionadas é objeto deste estudo, pois se o pavimento asfáltico sofrer de susceptibilidade a presença de água, podem ocorrer graves acidentes além de o pavimento apresentar redução do seu desempenho e aumento dos custos de manutenção.

Aliado à redução de custos com manutenção, hoje um dos grandes desafios de nossa época é a eliminação de resíduos, sejam eles domésticos (constituídos por papel, papelão, embalagens, objetos de consumo, artigos e móveis inutilizados, restos de alimentos, etc.), industriais (entulho, escombros, gangas da mineração, escórias e os mais variados resíduos decorrentes de processos industriais) ou hospitalares (seringas utilizadas, medicamentos, embalagens contaminadas, etc.), (SILVA, 1998).

O homem consegue transformar matéria prima que se encontra na natureza, de modo a torná-la útil para si, seja como ferramentas ou máquinas, ou como quaisquer bens de consumo. Durante a confecção de todos esses artigos formam-se quantidades apreciáveis de resíduos que para os profissionais menos preparados, parecem ser inúteis e que, com o tempo, acabam por comprometer o meio ambiente (FELLENBERG, 1980 apud SILVA, 1998).

A partir da década de 60, descobriu-se que o filer além de preencher os vazios, apresentava a propriedade de aumentar a viscosidade do asfalto, dizia-se então que o filer ativava o asfalto, espaçando-o e incorporando-o. Esta atividade faz com que o mastique ou sistema filer - asfalto tenha maior viscosidade que o asfalto correspondente, este comportamento cresce com a chamada concentração volumétrica do filer.

Deve-se observar que o uso do filer nas misturas asfálticas é importante na melhoria da adesividade entre o CAP e os agregados graúdo e miúdo, onde também se observa uma redução na absorção da água, na perda de resistência (estabilidade e resistência à tração) e envelhecimento das misturas asfálticas. Com o intuito de minimizar estes danos e otimizar os custos de pavimentação, buscou-se utilizar os resíduos provenientes da extração de Caulim e Serragem de Granito.

1.1 - OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é verificar quais dentre os fileres, resíduo proveniente da produção de Caulim e do corte de Rochas Ornamentais proporciona uma menor susceptibilidade de misturas asfálticas a presença de água. Procurou-se estudar os fatores que mais contribuem para este efeito, a partir do diagnóstico do problema, de conceitos fundamentais, de métodos de ensaios usuais utilizados para a observação da alteração da resistência de misturas asfálticas quando submetidas à ação da presença de água.

1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi dividido da seguinte forma:

[Capítulo 1] Introdução, objetivos e organização do trabalho – é descrita, em síntese, a justificativa, os objetivos a serem alcançados e a forma da organização do trabalho.

[Capítulo 2] Revisão da literatura – são discutidos e descritos assuntos relacionados à: susceptibilidade de misturas asfálticas a presença da água, asfalto, filer, resíduos sólidos, resíduo proveniente do processamento de rochas ornamentais e resíduos oriundos de empresas mineradoras de caulim.

[Capítulo 3] Materiais e métodos – são relatados aspectos, considerados importantes, sobre os procedimentos dos ensaios e o método da pesquisa.

[Capítulo 4] Resultados – são apresentados e analisados os resultados obtidos durante a fase experimental.

[Capítulo 5] Conclusões e sugestões – são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para futuras pesquisas sobre o tema estudado.

sa od

Por fim, estão incluídos as referênci

c

ra

f

CAPÍTULO 2

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - SUSCEPTIBILIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS À PRESENÇA DE ÁGUA

2.1.1 - Definição

Vários autores definem a susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água segundo pontos de vista diferente, como sendo o conjunto de efeitos deletérios inerentes ao incremento da água na interação entre o masticue (asfalto e filer) e os agregados.

Vertamatti et al (1995) definem a umidade como a massa da água contida em uma determina porção da mistura asfáltica, expressa como uma porcentagem da massa das partículas sólidas existentes nesta porção.

D'Angelo & Andeson (2003) descreve que a umidade é o principal agente que causa a perda de adesão e coesão no asfalto e que qualquer fator que contribua para a presença desta no interior do asfalto é também responsável. No mesmo estudo é comentado que se houver um bom projeto e uma drenagem adequada, a mistura asfáltica não tenderá a perder adesão, mesmo que o agregado produza danos.

Hainin et al (2003) definem a perda de adesividade como sendo a separação do CAP do agregado, devido aos esforços ocasionados pelo tráfego que causam tração na película de asfalto. De acordo com Furlan et al (2004) o acelerador deste mecanismo é a presença de água, que pode atuar de diversas formas: infiltrando-se e alojando-se entre agregado e o asfalto, descolando-o; "lavando" o asfalto quando aliada às cargas do tráfego, ou amolecendo o asfalto por emulsificação e deste modo comprometendo a coesão.

Tarrer & Wagh (1991) apud Jones & Little (2003) citaram que a textura da superfície, angulação, a absorção do revestimento e a natureza dos agregados são fatores que irão influenciar a adesividade entre este e o asfalto. As fissuras ocorrem com mais freqüência nos agregados angulares, uma vez que estes promovem a ruptura do masticue, permitindo a entrada da água. Como a ligação entre as moléculas da água e do agregado é mais forte que o agregado com as misturas asfálticas, essa ruptura acarretará em um aumento do teor de umidade com uma diminuição da resistência da mistura asfáltica (GZENSKI et al, 1968) apud (JONES & LITTLE, 2003).

Hunter & Ksaibati (2003) descrevem que a perda de adesividade tem início em camadas inferiores do pavimento e se irradia ao revestimento. A dificuldade em identificar a perda de adesividade, segundo os autores, é que este processo é por demasiado lento e os defeitos característicos são de difícil percepção.

Lytton (2002) apud Jones & Little (2003) desenvolveu uma teoria na qual as misturas que contêm finos filmes de asfalto podem sofrer danos pela ruptura das ligações adesivas enquanto as que apresentam filmes mais espessos apresentarão danos devido às falhas de coesão.

É consenso entre os autores que a susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água é intensificada pelo o incremento da água em seu interior, a qual irá interagir, de forma negativa entre o mastic e os agregados, e que quaisquer que sejam os fatores que contribuam para maximizar este incremento, acarretará em perda de adesão entre os componentes da mistura asfáltica.

Hveem apud Baptista (1981) aponta três possíveis causas de defeitos no pavimento devido à presença de água no interior deste. A primeira refere-se à composição de materiais inadequados do pavimento ou revestimento, apontando como causa a qualidade deste. A segunda indica a falta de um adequado entrosamento entre as camadas estruturais do pavimento, onde se observa a falta de coerência entre as camadas de revestimento e as subjacentes. A última diz respeito à falta de resistência das camadas que constituem o pavimento.

De acordo com Epps et al (2003), a presença de água nos pavimentos é responsável pela maioria dos danos ocasionados às estradas de rodagem. Com isso, a mistura asfáltica poderá sofrer a perda da ligação entre o CAP e o agregado. Silva (2001) destaca que nos pavimentos flexíveis defeitos como trincas, desagregações e afundamentos de trilha de roda são provenientes ou acelerados pela presença excessiva da água em sua estrutura.

Defeito, segundo a Austroads (1987) apud Daroncho (2001), é uma evidência visível de falhas ou descontinuidade da superfície que irá afetar a qualidade de movimentação da via e a capacidade estrutural ou a aparência do pavimento, podendo ser visíveis a olho nu ou com o uso de equipamentos.

Nas fissuras, a falta de adesão irá facilitar a penetração da águas pluviais, diminuindo a resistência do asfalto. Leite et al (1996) relatam que muitos engenheiros relacionam o problema do aparecimento de fissuras por fadigas com problemas de drenagem no subleito e que a camada de base do pavimento pode ser enfraquecida pela presença de água, quando esta não apresentar CAP, devido ao excesso de partículas finas impedirem a drenagem rápida desta. Com o passar do tempo, elas provocam a destruição total ou parcial do pavimento.

No primeiro estágio ocorre o aparecimento das trincas longitudinais e transversais. Devido à presença de água pode ocorrer, de forma progressiva, a união destas trincas dando origem a trincas em forma de couro

de jacaré (**Figura 2.1**). Por último, e mais severo estágio, ocorrerá à formação de trincas em bloco (LEITE et al,1996).



Figura 2.1 – Defeito em revestimento asfáltico: trinca em forma de couro de jacaré [Fonte própria]

As panelas são cavidades presentes no pavimento com mais de 15 cm de diâmetro localizados, em sua maioria, próximos às trincas, às deformações ou onde ocorrem à perda de agregado. Entre as principais causas das panelas é possível citar a inadequada qualidade do material utilizado para confecção do pavimento e a infiltração da água (DARONCHO, 2001). A **Figura 2.2** apresenta um exemplo deste tipo de defeito.

Nas panelas, os danos devido à presença de água podem afetar as camadas inferiores do pavimento como base e sub-base e/ou na ligação do revestimento com a base. O efeito deletério é rápido e devastador quando não ocorre a restauração adequada da estrutura do revestimento.

A desagregação devido à presença de água acarreta em desintegração progressiva da camada de revestimento, provocando sua perda de resistência. Inicialmente ocorre a perda dos miúdos e posteriormente evolui para desagregação dos agregados graúdos. Geralmente ocorre associado à presença de água, baixo teor de CAP ou do envelhecimento deste. Este tipo de defeito encontra-se retratado na **Figura 2.3**.

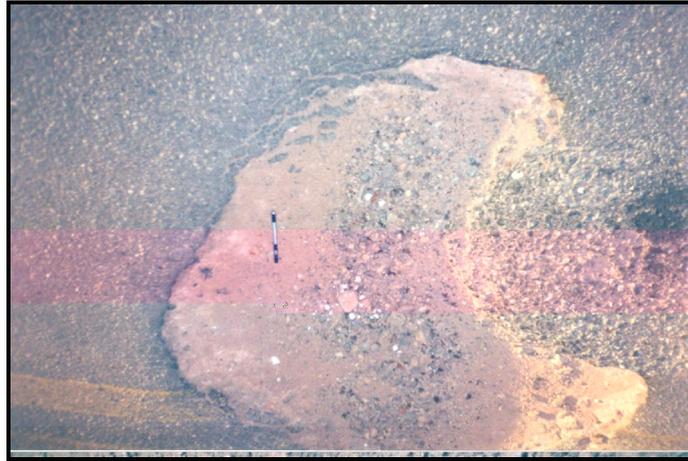


Figura 2.2 – Defeito em revestimento asfáltico: panela [Fonte própria]



Figura 2.3 - Defeito em revestimento asfáltico: desagregação [Fonte própria]

O afundamento de trilha de roda acarreta a elevação do pavimento que se encontra à margem dos sulcos e pode ter a aparência da **Figura 2.4**. Leite et al (1996) descrevem que este tipo de dano é a forma mais comum de deformação permanente (recebendo esta denominação devido ao acúmulo de pequenas parcelas de deformação que ocorrem a cada carregamento) e que esta é consequência das seções de pavimento serem delgadas e deste modo não conseguem distribuir um carregamento compatível com a capacidade do subleito, originando deformações irreversíveis. Este processo tem entre suas causas a ação da água que provoca o enfraquecimento do subleito e além de provocar a aquaplanagem dos veículos, acarretará uma baixa resistência do asfalto. Nele ocorre um crescimento rápido do tamanho dos sulcos e fendas do pavimento durante a estação chuvosa, se a água conseguir penetrar no corpo do pavimento (DARONCHO, 2001).



Figura 2.4 - Defeito em revestimento asfáltico: afundamento de trilha de roda [Fonte própria]

2.1.2 - Variáveis Relacionadas à Susceptibilidade das Misturas Asfálticas à Presença de Água

Os danos nas misturas asfálticas devido à presença de água podem ocasionar, como já visto anteriormente, a perda de adesão, ou seja, a separação do masticos dos agregados ou quebra do filme do aglomerante que reveste os agregados. As variáveis relacionadas ao incremento das falhas devido à presença de água podem ser de natureza química, física e mecânica. Entre estas, as mais relevantes para o aumento da susceptibilidade à água e, em decorrência disto, na resistência do asfalto, são: agregados, clima, compactação do revestimento, controle de qualidade, tipo de CAP, presença de água, projeto e seleção de materiais, tráfego, e transporte. A seguir serão descritas, caso a caso, a interação do que foi denominado de variáveis com a susceptibilidade das misturas asfálticas.

Agregados

A quantidade de agregados presentes nas misturas asfálticas de pavimentos é de 90 a 95% em peso e de 75 a 85% em volume. Como o agregado é o responsável pela capacidade de suportar as cargas do pavimento, o desempenho deste encontra-se relacionado com o agregado.

A importância do agregado é conferir resistência mecânica e flexibilidade a camada de rolamento sendo necessário que este apresente características granulométricas adequadas, resistência mecânica e aderência ao CAP.

Os estudos de Brasileiro (1983) indicam que o aumento da quantidade de agregados graúdos na mistura torna-a mais rígida pelo maior contato entre as partículas graúdas. Todavia, após certo limite, ocorrerá um decréscimo da estabilidade para maiores quantidades. Topal & Sengoz (2004) realizaram um estudo sobre a relação das características do agregado na resistência das misturas asfálticas e concluíram que as propriedades das misturas asfálticas que sofrem a influência do tamanho das partículas dos agregados são a rigidez dinâmica,

estabilidade, durabilidade, permeabilidade, resistência aos defeitos devido a presença de água e o número de vazios da mistura. Eles ressaltam que os agregados miúdos são os constituintes primários das misturas asfálticas e que sua quantidade e angulosidade são fatores que afetam o comportamento das misturas asfálticas. De acordo com Pereira & Parreira (2003) as “condições de umidade” interferem no comportamento mecânico dos materiais utilizados em pavimentação e este comportamento pode variar de acordo com a gênese e granulometria do material.

Os estudos de Yoon & Tarrer (1988) apud Jones & Little (2003) apontam no sentido que, uma boa resistência à perda de adesividade é encontrada nos agregados que apresentam uma ampla área de superfície e poros adequados para a penetração do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

Na composição do agregado são encontrados vários minerais cuja constituição poderá ocorrer à predominância de um destes. Geralmente este é o dióxido de sílica (que é um ácido) ou o carbonato de cálcio (que é uma base). As ligações entre as moléculas de ácidos e de base com as moléculas do agregado são um dos principais fatores na adesão do CAP. Contudo, este não será o único fator importante na “resistência” à presença de água, já que as propriedades físicas do agregado, a porosidade e a textura superficial também irão influenciar. Os agregados que apresentam uma textura mais grossa e uma grande quantidade de poros superficiais irão apresentar uma maior área superficial para ligação e uma menor susceptibilidade a presença de água.

Clima

De acordo com Darous (2003) o clima constitui o fator que mais afetará o desempenho do pavimento através de precipitações pluviométricas e da temperatura do ar. Os mecanismos pelos quais o clima influencia os pavimentos são: intemperização dos materiais, alteração do módulo de resiliência do revestimento asfáltico e do teor de umidade de equilíbrio do subleito.

A perda de voláteis do CAP e conseqüentemente da mistura asfáltica é influenciada pelo conjunto de processos devidos à ação de agentes atmosféricos e biológicos que geram a destruição física e a decomposição química dos materiais do pavimento onde fora construído. O módulo de resiliência, nos casos de solos granulares e argilosos, sofre influencia nociva com o aumento do teor de umidade. A umidade de equilíbrio é o valor médio da gama de variação do teor de umidade do solo do subleito ao longo do ano, após a fase de acomodação dos primeiros meses de serviço, esta umidade apresenta uma relação estreita com o índice de pluviosidade (MEDINA, 1997).

Grau de compactação da camada de revestimento

Estudos realizados por D'Angelo & Anderson (2003) indicam que os vazios de ar em misturas asfálticas devem ficar abaixo de 3%, com isso, e segundo os autores, os vazios não ficam interconectados e assim o

asfalto torna-se impermeável. Acima de 8% os vazios permitem a drenagem da água. Quando não são obedecidos estes limites ocorrerão exsudações e afundamento de trilha de roda. Em síntese, os vazios ocasionam problemas de permeabilidade que acarretam danos devido à presença de água ou uma excessiva oxidação do CAP.

Topal & Sagoz (2004) descrevem que as misturas asfálticas que são facilmente compactadas apresentam maior incidência de afundamentos de trilha de roda quando sofrem os efeitos das oscilações provocadas pelo tráfego do que aquelas de difícil compactação.

Controle de qualidade

De acordo com Hainin et al (2003) o controle de qualidade ~~começa com a estocagem dos materiais.~~ O local para estoque dos agregados deve ser seco, limpo e estável. A estocagem dos agregados se dá de forma a minimizar a segregação das partículas graúdas. Devido a isto, o lo

mç

De acordo com Leite et al (1996) estão sendo produzidos CAPs modificados que visam alterar e melhorar as propriedades da mistura asfáltica e conseqüentemente melhorar o desempenho dos revestimentos a longo prazo. Os modificadores provocam a redução da dependência da temperatura, do envelhecimento oxidativo do CAP e da susceptibilidade à presença de água nas misturas asfálticas.

O CAP pode vir a apresentar comportamentos diferentes com algumas variáveis como: tempo, ar, temperaturas elevadas durante a estocagem e finos filmes destes que quando submetidos ao processo de misturas, expõem o CAP a riscos de mudanças de suas características devido ao processo de oxidação.

Os CAPs são geralmente obtidos pela destilação do petróleo utilizando diferentes técnicas. Em temperatura ambiente, o CAP é um mineral semi-sólido que deve ser aquecido para ser misturado com o agregado (HUNTER, 2003). Quando estes estão sob baixa temperatura, tornam-se frágeis e quebradiços, enquanto que sob altas temperaturas, tornam-se como um líquido viscoso. A adequada viscosidade do CAP irá afetar o desempenho dos pavimentos, logo para assegurar esta propriedade pode-se utilizar agentes modificadores (GONZÁLEZ et al, 2004), tais como emulsões etc.

Presença de água

De acordo com Ibrahim et al (1998) os pavimentos sofrem a ação de três tipos de água: água de chuvas, água de esgoto e água potável. Este fator irá fornecer uma energia suficiente para quebrar ligações adesivas e causar falha de coesão. D'Angelo & Anderson (2003) em pesquisas para a National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), mostrou que quando houver uma má drenagem, haverá uma maior tendência ao aumento de fadiga, rachaduras e presença de sulcos que contribuem para a perda de adesão entre o mastic e os agregados.

Como a água e o vapor podem deslocar-se pela ação da gravidade ou da capilaridade, é importante que o dimensionamento e a dosagem da camada do revestimento apresentem uma drenagem e uma impermeabilização adequada para evitar os efeitos nocivos da água. É essencial assegurar que a quantidade da água que entrar na estrutura do revestimento e/ou nas camadas subjacentes do pavimento seja minimizada, acarretando assim, menor tempo de exposição das estruturas das camadas em presença de água.

Segundo Mallich et al (2003) a vida útil dos pavimentos permeáveis é inferior a vida útil dos pavimentos poucos permeáveis e a infiltração da água irá afetar, de maneira significativa, a durabilidade dos pavimentos.

Projeto e seleção dos materiais

D'Angelo & Anderson (2003) relatam que existem três tipos de misturas que irão responder de maneiras diferentes à presença de água.

- as misturas com a distribuição dos tamanhos de grãos fechada e que apresentam suas partículas homoganeamente distribuídas. A Associação Nacional de Pavimentos Asfálticos e o Instituto de Asfalto dos Estados Unidos observaram que ao utilizar este tipo de mistura pode haver uma inibição da adesão do CAP com o agregado, permitindo a penetração da água.

- as misturas com distribuição dos tamanhos de grãos aberta com os vazios preenchidos com materiais pulverulentos (Stone Matrix Asphalt – SMA) são tidas como misturas impermeáveis.

- as misturas com distribuição dos tamanhos de grãos aberta (Open-Graded Friction Course - OGFC) são típicas de Concretos Asfálticos Drenantes que lhes conferem um tempo de presença de água menor.

Segundo D'Angelo & Anderson (2003), deve-se evitar a que possui distribuição dos tamanhos de grãos fechados, o autor acredita que estas misturas são mais propensas a apresentarem danos relativos à perda de adesividade e, portanto mais susceptíveis à presença de água.

Tráfego

Ao longo da vida útil de um pavimento ele sofrerá a ação do tráfego. A ação do tráfego, não apenas pelo peso transportado, mas também pela frequência com que solicita o pavimento irá provocar a deteriorização do mesmo. Esta deteriorização caracteriza-se pelo rompimento da camada de concreto asfáltico, os quais dão origem as fissuras que surgem na fibra inferior da camada e que se propagam pela superfície do revestimento.

A ocorrência de fissuras no revestimento irá facilitar a penetração das águas pluviais acelerando os efeitos deletérios da presença da mesma. Os veículos comerciais, como caminhões e ônibus, apresentam maior carga deslocada e, portanto são os principais responsáveis pelo aparecimento das fissuras.

Transporte

Após a fabricação da mistura é necessário que esta tenha um transporte adequado. A segregação, que pode ser física ou térmica, poderá ser uma das causadoras dos danos devido à água, todavia deve ser considerada também a baixa densidade, pois uma vez presente, ela permite a passagem de água.

A segregação física durante o transporte da mistura asfáltica pode acarretar na drenagem do CAP aderido ao agregado graúdo. Como resultados disto, os agregados graúdos não estarão cobertos com CAP suficiente e pelos mecanismos de separação, deslocamento ou desgaste hidráulico podem ocorrer falhas devido a presença de água.

2.1.3 - Mecanismos Decorrentes da Presença de Água em Misturas Asfálticas

As variáveis responsáveis pela susceptibilidade à presença de água podem acarretar seis mecanismos no sistema asfalto – agregado, a saber:

Descolamento

Ocorre a remoção do filme asfáltico da superfície do agregado com a presença de água. A ruptura do filme pode ocorrer, resultando na fratura do agregado durante a compactação, tráfego ou ação da submersão do pavimento em água durante cheias.

Separação

Ocorre a separação microscópica do filme asfáltico do agregado pelo fino filme da água sem a quebra do filme asfáltico.

Porosidade

Ocorre pela presença de água nos vazios interconectados. Esses vazios coletam água e quando submetidos à carga, ocorre um aumento do poro-pressão que cessa quando não submetido. Esse constante aumento e a queda do poro pressão podem romper o filme asfáltico. Gould et al (2003) relatam que apesar de vários ensaios tentarem reproduzir tal efeito, estes não simulam adequadamente os mecanismos de sucção e compressão provocadas pelo movimento das águas no interior dos pavimentos durante as oscilações provocadas pelo tráfego.

Desgaste hidráulico

Ocorre pela passagem de veículos pneumáticos em um asfalto “saturado”. Quando na presença deste fenômeno, a água é comprimida nos vazios, ocorre uma tensão compressiva nos vazios, e com a passagem dos veículos cria-se um vácuo nestes devido à expulsão da água. Esse ciclo de compressão e tensão deixa o pavimento susceptível a danos devido à presença de água pelos mecanismos de deslocamento ou emulsificação.

Emulsificação espontânea

Este processo ocorre devido à emulsão de gotas da água pelo cimento asfáltico. Fromm (1974) apud Jones & Little (2003) observaram que uma vez esta emulsificação formada, ela penetra no substrato e acarreta a quebra da ligação adesiva. Fromm observou, também, que o grau de emulsificação dependerá da natureza do asfalto e da presença de aditivos ou argilas. Segundo Kandhal (1992) a hipótese de que os materiais finos formados por argila podem acarretar perda de adesividade pela emulsificação é insignificante e um fato incomum.

Efeitos do ambiente

Terrel & Shute (1989) apud Jones & Little (2003) descreveram que fatores como variação de temperatura, tempo de uso da mistura asfáltica, qualidade do CAP e dos agregados, tráfego, as técnicas empregadas na construção e principalmente a presença de água irão afetar a durabilidade do asfalto.

2.1.4 - Ensaio e Simulações

A escolha do ensaio apropriado para simular os danos que poderão ocorrer com as misturas asfálticas devido à presença de água depende de variáveis como agregados, CAPs, condições climáticas, tráfego e práticas de construção. Devido à variedade de tais parâmetros torna-se necessário estabelecer ensaios capazes de atender aos seguintes requisitos:

- ser capaz de representar os mecanismos que provocam danos aos pavimentos em condições semelhantes às encontradas nas rodovias;
- ser capaz de distinguir entre um bom e mau desempenho;
- ser replicável;
- ser prático, possível e econômico para poder ser utilizado regularmente.

Gogula et al (2003) relatam que é difícil medir a permeabilidade da misturas "in-situ" porque a água flui em duas dimensões enquanto os ensaios existentes simulam apenas em uma.

Os ensaios que visam diminuir a susceptibilidade à presença de água podem ser divididos em duas categorias: os realizados em misturas compactadas e em misturas não-compactadas.

Os ensaios em misturas não-compactadas são realizados na cobertura asfáltica do agregado na presença de água. A vantagem destes tipos de ensaios é que eles necessitam de procedimentos e equipamentos simples, além de serem mais econômicos que os realizados em misturas compactadas. A principal finalidade desses ensaios é a de poder comparar entre os sistemas misturas asfálticas - agregados em termos de compatibilidade e resistência a perda de adesividade. Entre os ensaios existentes em misturas não-compactadas podemos destacar:

- *azul de metileno* – este ensaio foi desenvolvido na França e indica a presença de argilas indesejadas e de material pulverulento nos agregados miúdos.
- *ensaio da perda de adesividade do filme asfáltico* – através de uma amostra de agregados submetida a uma temperatura de 60° por 15 horas e a uma rotação é possível obter a percentagem de agregado que sofreu perda de adesividade;

- *ensaio estático de imersão* – após uma amostra de mistura asfáltica ser aquecida a 60° por 2 horas e ser centrifugado por 16 horas, é possível estimar a quantidade da amostra que sofreu perda de adesividade.

- *ensaio dinâmico de imersão* – as amostras deste ensaio são preparadas de forma similar ao anterior, a diferença é que neste, elas serão submetidas a 4 horas de centrifugação.

- *ensaio de imersão química* – determina-se a adesão existente entre o CAP e o agregado por meio da fervera da cobertura asfáltica na Presença de água destilada. São adicionadas à água destilada e quantidades de carbonato de sódio (Na_2CO_3) que variam de 0 a 106 gramas. Então, observar-se qual a menor concentração de Na_2CO_3 na qual começará haver a perda de adesividade do CAP;

- *ensaio de reação superficial* – Ford et al (1971) apud Tandon et al (2003) formularam um ensaio nos quais os minerais de sílica ou de calcário reagem com o reagente dando origem a um gás. Quanto maior for a quantidade deste gás maior a área de superfície. Os níveis de perda de adesividade são resultados da área de superfície exposta dos agregados.

- *ensaio de fervera* – consiste em colocar a amostra em água fervente e posteriormente drená-la e resfriá-la. A partir de observações de sua aparência final é possível mensurar a perda de adesividade sofrida pelo agregado. Este ensaio também apresenta utilidade para indicar a presença de agentes contra perda de adesividade durante a produção de controle de qualidade (ROBERTS et al (1996).

- *ensaio de absorção* – o ensaio serve para estimar a afinidade e compatibilidade da iteração asfalto-agregado, bem como a susceptibilidade do sistema à presença de água. Este ensaio consiste em colocar a amostra em uma solução de tolueno e medir a quantidade de asfalto absorvido pelo agregado e a remanescente na solução. Em seguida ocorre a introdução da água no sistema que irá provocar a separação entre o asfalto e o agregado e fornecerá a afinidade do sistema. De acordo com Harrigan (1994) este ensaio não deve ser utilizado por CAPs modificado, pois pode acarretar diferenças na solubilidade do tolueno e na absorção entre a base de cimento asfáltico e o modificante;

- *Rolling Bottle Test* – Neste ensaio o agregado é coberto com CAP e posteriormente o sistema é centrifugado e periodicamente o revestimento é analisado visualmente;

- *Wilhelmy Plate Test* – o objetivo deste ensaio é obter a energia livre da superfície do CAP através da medida do ângulo formado entre o contato do asfalto com o líquido solvente. Isto é possível devido à deformação das amostras, obtidas através de ensaios de compressão, apresentarem relação com a energia de superfície livre do asfalto-agregado;

- *Pneumatic Pull-off* – neste ensaio avalia-se, de maneira eficiente, a susceptibilidade dos filmes asfálticos à presença de água. Para isto, mensura-se a tensão e a rigidez do CAP em função do tempo de exposição à água;

- *Frasco de areia* – este ensaio consiste na estimativa do peso específico e do teor de umidade em campo. Estes parâmetros são comparados com os resultados de ensaios de compactação determinados em laboratórios, sendo calculado os valores do grau de compactação e desvio de umidade (REZENDE, 2003);

- *Medidores Nucleares* – este método é usado para o controle de compactação e é baseado nas informações obtidas “in situ”. O aparelho irá medir a densidade úmida do solo através de radiações ionizantes. Por ser um método rápido e de boa qualidade ele trará economia à obra.

Entre os ensaios em misturas compactadas podemos destacar:

- *Resistência à tração retida por umidade induzida* – a importância do ensaio deve-se a associação dos seus resultados com o desempenho das misturas asfáltica em campo. Neste procedimento faz-se a junção de dois outros métodos: Tunnidiff e Root NCHRP-274/84 e o ensaio Lottman (MOURA, 2001 apud BRANCO, 2004). São moldados 2 grupos de amostras, um que apresenta condicionamento de acordo com o ensaio de Lottman e outra sem condicionamento. Acha-se a resistência à tração diametral de ambas;

- *Coesímetro de Hveem* – neste ensaio mensura-se a “coesão” de uma mistura compactada através da determinação da “força” exigida para a ruptura de um corpo-de-prova submetido a flexo-tração aplicada por meio de uma viga de balanço. O objetivo é estimar a capacidade de um corpo-de-prova resistir à desagregação imposta pelo tráfego, ele pode também ser considerado na avaliação da susceptibilidade aos danos por umidade (FURLAN et al 2004).

- *Ensaio Marshall* 57 Tm (m) Tj 0.08967 0 0 -0.08968 4824 6157 Tm (e) Tj /8208 6788 Tm ((ç) T Tm (c

Tabela 2.1 - Ensaio Marshall – valores limites (DNIT – ES 313/97, 1997)

CARACTERÍSTICAS	MÉTODO DE ENSAIO	CAMADA DE ROLAMENTO	CAMADA DE LIGAÇÃO (Binder)
Percentagem de vazios, %	DNIT – ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNIT – ME 043	75 – 82	65 – 72
Estabilidade mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNIT – ME 043	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	DNIT – ME 138	0,65	0,65

- *Tração Indireta de Lottman* - Segundo Tandon et al (2003) o ensaio Lottman foi adotado pela metodologia SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements) por este ser o ensaio adequado para determinar os danos devido à presença de água.

De acordo com Furlan (2004) o principal ensaio utilizado na avaliação dos danos por umidade das misturas asfálticas é o ensaio de Tração por Compressão Diametral de Lottman, isto é justificável por ele refletir o esforço ao qual a película de asfalto é submetida quando deslocada/arrancada e por também apresentar sensibilidade suficiente para diagnosticar variações na resistência ou perdas de coesão da mistura.

De acordo com Mbura (2001) apud Mourão (2003) o condicionamento não simula condições climáticas ocorridas em campo. Na verdade, este procedimento serve para submeter às misturas asfálticas em condições extremas de solitação a fim de evidenciar e separar as misturas asfálticas mais resistentes à ação deletéria da água de outras.

Tandon et al (2003) identificam o Lottman test como um dos mais utilizados nos Estados Unidos e dentre estes, o que obteve maior êxito nas previsões dos comportamentos das misturas asfálticas.

Segundo Mbura (2001) apud Mourão (2003), muitos autores associam o desempenho obtido no Lottman Test com o ensaio Marshall visto que ambos utilizam o mesmo procedimento de condicionamento.

Segundo Little & Epps (2001) o ensaio de Lottman é o ensaio mais eficaz utilizado atualmente nos Estados Unidos.

Na execução do ensaio de Lottman, são realizadas as etapas que se seguem: preparam-se seis amostras de acordo com a metodologia Marshall e separa-se em dois grupos com três amostras cada. O primeiro grupo é submetido ao ensaio de Resistência à Tração (R_t), este deve ser executado após a imersão dos corpos-de-prova em água, que colocados em sacos plásticos impermeáveis, permanecem a 25°C por duas horas. Através da média dos três valores, determina-se R_{t1} . As amostras do segundo grupo são saturadas a

vácuo através da aplicação de pressão em um dessecador contendo água potável por um período de cinco minutos. Colocam-se os corpos-de-prova dentro de sacos plásticos e submete-os a refrigeração a uma temperatura de 10°C durante no mínimo 16 horas. As amostras são retiradas da refrigeração e imersas em água potável a temperatura de 60°C por um período de 24 horas. Transferem-se as amostras para um banho à temperatura de 25°C por um período de 2 horas. Rompe-se os corpos-de-prova submetidos ao condicionamento e determina-se o valor de Rt_2 . Calcula-se, através do quociente entre Rt_2 e Rt_1 (em percentagem), o valor de RRT – Relação da Resistência à Tração.

O valor do Rt_1 e Rt_2 é dado pela fórmula: $Rt = \frac{2 * P}{\pi * t * D}$, onde: P = Carga de ruptura; D = diâmetro

do corpo-de-prova; t = altura do corpo-de-prova.

De acordo com Wesseling (2003) o valor da relação da resistência à tração, encontrado na literatura como referência de misturas asfáltica, com um bom desempenho em relação a adesividade é de 70% (Hicks, 1991) e enquanto a metodologia SUPERPAVE sugere valores acima de 80%.

Para Lottman (1978) apud Furlan (2004) a presença de água congelada nos poros de mistura asfáltica simula as tensões de tração no Concreto Asfáltico, devido à expansão causada pela formação de cristais de gelo. Como consequência desta expansão pode haver ruptura de ligações adesivas mais frágeis ou de agregados porosos ou fissurados, comprometendo a durabilidade da mistura.

- *Tração Indireta Modificada de Lottman* – neste ensaio são seguidos, basicamente, os mesmos princípios que o procedimento original *Lottman*, apresentando diferenças referentes ao nível de saturação, temperatura e carga.

- *Hamburg Wheel Tracking (HWTD)* -Tandon et al (2003) descrevem que o HWTD mensura os efeitos, da combinação da perda de adesividade e a presença de sulcos, através de uma roda de aço passando pela amostra de concreto asfáltico que se encontra imersa em água quente. Cada roda irá passar aproximadamente 2000 vezes ou até a amostra sofrer uma deformação de 20 mm. O resultado do HWTD fornecerá o ponto de inflexão da perda de adesividade. Este ponto, que é dado em termos de ciclos, representa a resistência a danos devido à presença de água para o mistura asfáltica começar a perder adesão. Uma amostra que apresente esse ponto superior a 10000 ciclos será considerada adequada para uso em pavimentações.

- *Imersão/Compressão* – este ensaio consiste em mergulhar uma amostra da água a uma dada temperatura (120° ou 77°) por certo tempo (4 dias ou 24 horas respectivamente). Posteriormente aplica-se uma força de compressão a esta amostra e a uma amostra sem condicionamento. A razão entre elas é utilizada como uma estimativa da susceptibilidade da amostra a presença de água. A desvantagem de utilizar-se tal ensaio é por este não simular adequadamente o carregamento imposto pelo tráfego nas rodovias (MOORE, 2004).

- *Susceptibilidade à umidade de vapor* – neste ensaio duas amostras são preparadas, compactadas e cobertas com alumínio. Então, submete-se uma delas a um vapor da água para em seguida colocar ambas no estabilômetro de Hveem e posteriormente comparam-se os valores obtidos.

- *Ensaio de tensão repetida do poro pressão da água* – este ensaio apresenta falha ao não considerar as propriedades mecânicas do sistema CAP/agregado e a ação do tráfego. Neste, a amostra sofre rotações na presença de água e ao término do ciclo de indução da água, é estimada a resistência da amostra através do equipamento Double-Pouche.

- *Ensaio de Compressão Simples (ECS)* - este ensaio foi desenvolvido para mensurar a tendência da amostra compactada sofrer a ação da água sob condições de saturação, variação de temperatura e presença de tráfego. Para atingir tal fim, a amostra é submetida a ciclos de temperatura e simulações de carregamento. Ao término dos ciclos é determinada a permeabilidade do ar e o módulo de resiliência (M_R). Se o M_R for inferior a 0,7 a mistura é suscetível a sofrer danos devido à presença de água e, portanto não é indicada a sua utilização.

De acordo com Allam (1997) apud Tandon et al (2003) o índice a ser adotado para fins de comparação deveria ser de 0,8. As vantagens de se utilizar esse ensaio é por ele considerar o efeito do carregamento provocado pelo tráfego e o efeito poro-pressão. Este é um dos ensaios mais rigorosos, especialmente com rodovias que apresentam bom desempenho.

- *Ensaio de tensão indireta* – neste ensaio é estimada a mudança na força de tensão provocada pelos efeitos de saturação e acelerado pelo condicionamento da água nas misturas asfálticas. Os resultados podem ser utilizados para prever, em longo prazo, susceptibilidade à perda de adesividade das misturas asfálticas e para avaliar a eficácia da utilização de dope.

- *Ensaio Flexial Fatigue Beam* - este método avalia os efeitos danosos que podem ser acarretados pela presença de água no interior das misturas asfálticas. Neste as amostras são saturadas a vácuo e submetidas a ciclos de temperatura. Após isto elas são testadas de acordo com a AASHTO TP - 8 e os resultados alcançados indicam se as condições iniciais influenciaram na resistência e na ocorrência da fadiga. Com isto, o controle de compactação na construção pode influenciar ao aparecimento de falhas provenientes da presença de água nas misturas asfálticas.

2.2 - PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA REDUZIR A PERDA DE ADESIVIDADE DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Adota-se neste trabalho o conceito de perda de adesividade das misturas asfálticas como sendo a separação do conjunto CAP/agregado gerada pelos esforços de tração na película de asfalto devido ao tráfego e acelerado pela à presença de água, comprometendo assim, a coesão da mistura ocasionando a desagregação do revestimento e a formação de trincas.

Alguns procedimentos são utilizados para minimizar a perda de adesividade das misturas asfálticas, entre elas pode-se destacar: uma composição de uma mistura com uma distribuição de tamanhos dos agregados mais aberta (asfalto drenante) e a adição de materiais que interajam e/ou reajam com o conjunto CAP/agregado (aditivos), proporcionando assim, uma maior coesão à mistura. A seguir, serão descritos sucintamente alguns desses procedimentos.

2.2.1 - Pavimento Drenante

A utilização do asfalto drenante, como camada de revestimento em pavimentos, teve início na Europa na década de 60. A principal característica deste tipo de mistura é de apresentar uma composição da distribuição dos tamanhos de grãos dos agregados aberta, o que ocasiona um alto índice de vazios, o que irá promover o escoamento das águas de chuva mais facilmente e reduzir a espessura da lâmina d'água sobre a superfície do revestimento.

Oliveira (2003) descreve que o elevado volume de vazios, característico deste tipo de asfalto, é obtido por meio de uma dosagem adequada de agregados minerais britados, filer e cimento asfáltico puro ou modificado com adição de polímeros. Portanto, os vazios da mistura irão permitir a percolação oriunda das chuvas e originar um pavimento drenante ou permeável.

Este tipo de pavimento apresenta duas camadas, onde uma tem função estrutural, formada por misturas asfálticas densas convencionais e a outra composta pelo asfáltico drenante. Com isto, a camada drenante sobre uma camada impermeável proporciona o escoamento mais rápido das águas pelos vazios (OLIVEIRA, 2003).

Farias et al (2004) listou as seguintes características do asfalto drenante: redução do fenômeno da aquaplanagem, melhoria da visibilidade devido à redução "spray" (projeção da água), formado atrás dos veículos nos pavimentos molhados, diminuição da reflexão luminosa (eliminando o fenômeno) e redução dos níveis de ruído provocados pelo tráfego. Além das características acima mencionadas, segundo autor, a adoção deste tipo de revestimento reduz a perda de adesividade entre conjunto CAP/agregado, diminuindo o acúmulo da água no interior do pavimento.

Apesar de todas as vantagens da utilização do asfalto drenante existem limitações da sua composição, entre elas pode-se destacar: elevado custo, constantes manutenções e mudanças de velocidade devido a possíveis desagregações causadas pelas solicitações por cisalhamento.

2.2.2 - Aditivos

Existe aditivos que são aplicados ao CAP no momento do refino ou durante a produção da mistura. Outros são aplicados aos agregados como a adição de cimento Portland, de cal hidratada, de polímeros, de filer, etc. As especificidades relativas a cada procedimento utilizado para adicionar esses materiais à mistura asfáltica encontram-se descritas abaixo.

Borracha triturada

Aksoy et al (2004) descrevem que a finalidade da utilização da borracha triturada é diminuir a susceptibilidade à presença de água e aumentar o módulo de resiliência com conseqüente incremento da resistência do CAP à oxidação. A eficiência deste procedimento dependerá de fatores como: a tecnologia utilizada para o processamento, a natureza da borracha e o tamanho dos grãos resultantes do tritramento.

Stefenon & Ceratti (2004) relatam experiências, realizadas em vários países que utilizaram a borracha triturada em revestimentos asfálticos onde foram obtidos resultados promissores.

Cinza volante

Ao acontecer à queima do carvão mineral em usinas termelétrica ocorre a produção de resíduos como as cinzas volantes e pesadas, onde a primeira apresenta amplo uso no mercado de produção do cimento pozolânico enquanto a outra possui pouca atribuição comprovada (HIGASHI et al, 2003).

As cinzas volantes são constituídas de sílica, alumínio, e ferro que em contato com a água, têm um comportamento similar ao cimento Portland. A diferença entre ambos consiste que, as cinzas necessitam de uma menor quantidade de água para a efetivação da reação cimentícia, provocando assim, uma menor segregação da mistura. Todavia, estes resíduos são provenientes de diferentes operações, suas propriedades irão variar de acordo com o controle de qualidade existente da cadeia produtiva adotada na indústria de origem.

Dope

Segundo Epps et al (2003), o uso de dope para minimizar a perda de adesividade das misturas asfálticas, pode afetar as propriedades do CAP ou da mistura. A eficácia da utilização deste aditivo, irá depender da quantidade utilizada e das propriedades do CAP.

O uso do dope reduz a tensão da superfície do cimento asfáltico e aumenta a adesão entre este e o agregado. Existem dois métodos pelos quais se pode adicionar o dope às misturas asfálticas. O mais simples e econômico, é adicioná-lo ao CAP antes da composição com o agregado. O segundo método consiste em acrescentá-lo durante o processo final de refino do petróleo.

Filer

Segundo Al-Suhaibani et al (1992) apud Amaral (2000) a atuação do filer se dá por duas formas que ocorrem concomitantes, a primeira é que suas partículas finas preenchem os vazios presentes entre os agregados, aumentando a densidade e a resistência da mistura quando compactadas. A outra é que as partículas finas do filer ficam suspensas no CAP, aumentando a sua viscosidade e, em decorrência disto, aumentando a rigidez da mistura.

Puzinauskas (1983) relatou, baseado em resultados de ensaios Marshall e de ensaios de Imersão-Compressão, que a susceptibilidade à presença de água nas misturas asfálticas pode ser minimizada, e até eliminadas, pela utilização do filer. Entretanto, o uso de uma quantidade exagerada deste material pode promover a quebra de ligação do conjunto CAP/agregado quando a mistura for submetida à presença de água. Com o rompimento desta ligação pode ocorrer a ruptura e a instabilidade do revestimento.

Portanto, com ressalva, o uso de filer será importante para diminuir a desuniformidade na consistência e na susceptibilidade térmica provenientes de eventuais irregularidades na produção do CAP e na composição da mistura asfáltica (SANTANA, 1995).

2.3 - ASFALTO

2.3.1 - Definição

O asfalto é um dos mais antigos materiais da natureza que é usado pelo homem. Acredita-se que a palavra "asfalto" tenha origem do antigo Acádico "asphaltic". Foi adotada pelos gregos na época de *Homero* com o significado de "tornar firme ou estável". O Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP, 1999) descreveu que escavações arqueológicas revelou o seu emprego em épocas anteriores à nossa era. Na Mesopotâmia, o asfalto era usado como aglutinante em trabalhos de alvenaria e construção de estradas. Os reservatórios da água e as salas de banho eram impermeabilizados com asfalto. Os egípcios utilizaram o asfalto em trabalhos de mumificação. De um passado distante até o presente, o asfalto tem sido usado como cimento para colar, revestir e impermeabilizar objetos (INSTITUTO DE ASFALTO, 2001).

Segundo IBP (1999) as pavimentações asfálticas pioneiras datam de 1802 na França, de 1838 nos Estados Unidos (Filadélfia) e de 1869 na Inglaterra (Londres), onde foram executadas com asfaltos naturais provenientes de jazidas. A partir de 1909 iniciou-se o emprego de asfalto derivado de petróleo, o qual, pelas suas características de economia e pureza em relação aos asfaltos naturais, constitui atualmente a principal fonte de suprimento para pavimentação.

O asfalto tem interesse especial para o engenheiro porque é um aglomerante forte, prontamente aderente, altamente impermeabilizante e durável. É uma substância plástica que confere flexibilidade controlável

às misturas com agregado mineral. É muito resistente à ação da maioria dos ácidos, álcalis e sais. Embora seja sólido ou semi-sólido à temperatura atmosférica usual, pode o asfalto ser prontamente liquefeito se aquecido ou se dissolvido nos solventes de petróleo de diferentes volatilidades ou por emulsificação.

O asfalto é um material betuminoso porque contém betume, que é um hidrocarboneto, solúvel no bissulfeto de carbono (CS_2) (INSTITUTO DO ASFALTO, 2001).

“Os materiais betuminosos utilizados em pavimentação classificam-se em dois tipos: alcatrões e asfaltos. Os alcatrões para pavimentação (AP) resultam de processos de refino de alcatrões brutos, os quais originaram-se da destilação dos carvões durante a fabricação de gás e coque. Estão em desuso no Brasil há mais de 25 anos. Os asfaltos são materiais aglutinantes, de cor escura, constituídos por misturas complexas de hidrocarbonetos, não voláteis de elevada massa molecular. Originaram-se do petróleo, no qual estão dissolvidos e a partir do qual podem ser obtidos, seja pela evaporação natural de depósitos localizados na superfície terrestre (asfaltos naturais), seja por destilação em unidades industriais especialmente projetadas (IBP, 1994)”.

Os asfaltos naturais podem ocorrer em depressões da crosta terrestre, constituindo os lagos de asfaltos (Trinidad, Bermudas), ou aparecerem impregnando os poros de algumas rochas, formando as denominadas rochas asfálticas (gilsonitas). Encontram-se também misturados com impurezas minerais (areia e argila), em quantidades variáveis, sendo geralmente submetidos a processos de purificação para serem aplicados em pavimentos.

Atualmente, a maior parte do asfalto produzido e empregado no mundo é extraída do petróleo, do qual é obtido isento de impurezas, sendo quase completamente solúvel em bissulfeto de carbono ou tetracloreto de carbono (IBP, 1994).

Com o objetivo de estabelecer uma distinção entre os termos referentes ao asfalto e ao betume, a NBR 7208 de 1982 esclarece:

- *Betume*: mistura de hidrocarbonetos de consistência sólida, líquida ou gasosa, de origem natural ou pirogênica, completamente solúvel em bissulfeto de carbono, freqüentemente acompanhado de seus derivados não – metálicos;

- *Ligante betuminoso*: produto à base de betume com acentuadas propriedades aglomerantes;

- *Asfalto*: material sólido ou semi-sólido, de cor entre preta e parda escura, que ocorre na natureza ou é obtido pela destilação do petróleo, que se funde gradualmente pelo calor e no qual os constituintes são os betumes;

- *Asfalto de petróleo*: asfalto obtido pela destilação de petróleo asfáltico;

- *Cimento asfáltico*: asfalto sólido ou semi-sólido de consistência adequada à pavimentação.

Os Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) são preparados para apresentarem características próprias para uso direto na construção de camadas asfálticas de pavimentos. É um material adequado para aplicação em trabalhos de pavimentação, pois além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possuem características de flexibilidade, durabilidade e alta resistência à ação da maioria dos produtos inorgânicos.

Classificam-se de acordo com sua consistência medida pela viscosidade absoluta, isto é, o tempo necessário ao escoamento de um volume determinado de asfalto através de um tubo capilar, com auxílio de vácuo, sob condições controladas de vácuo e temperatura, e também por penetração, ou seja, pela medida em décimos de milímetro da penetração de uma agulha padronizada em uma amostra nas condições do ensaio.

Os asfaltos classificados por penetração são fabricados somente nas Refinarias de Mataripe/BA (RLAM) e Fortaleza/CE (LUBNOR) (IBP, 1999).

Na **Tabela 2.2** está inserida a classificação dos CAPs produzidos no Brasil, quanto à viscosidade e a penetração.

Tabela 2.2 - Classificação dos Cimentos Asfálticos quanto à viscosidade e penetração (DNIT 031/04 - ES)

Classificação por Viscosidade	Classificação por Penetração
CAP 7	CAP 30/45
CAP 20	CAP 50/60
CAP 40	CAP 85/100
-	CAP 150/200

2.3.2 - Composição Química do Asfalto

Segundo o DNIT (1998), quimicamente o asfalto é definido como um sistema coloidal constituído por micelas de asfaltenos dispersadas em um meio intermicelar oleoso, formado pela mistura de óleos aromáticos e saturados, chamados maltenos.

Os métodos de separação do asfalto em frações têm um ponto comum que é a separação da parte sólida do asfalto (os asfaltenos) pela adição de um solvente que dissolva os maltenos e não dissolva os asfaltenos. Utiliza-se de uma propriedade fundamental dos sistemas coloidais, que é a destruição de sua estabilidade pela eliminação da camada de proteção das micelas, que faz com que elas se associem e precipitem pela ação da gravidade.

A estabilidade de uma micela é dada por uma camada de agente peptizante ou por camadas de solvatação, bastando eliminar a proteção, que a micela sedimenta, tal procedimento é feito através da adição de

um solvente que seja afim ao meio de dispersão e à camada de proteção, e que não tenha nenhuma afinidade pela micela.

As micelas são constituídas fundamentalmente por aromáticos, devido a sua alta relação C/H, sua separação se dá pela adição de um alcano leve. Uma vez separada a fase micelar (asfaltenos), a fase intermicelar (maltenos) fica solúvel no solvente usado, e pode então ser dividida em sub-grupos. Os sub-grupos são então separados por diferentes métodos, que são eles: método de Schweyer e Traxler; método de Rostler e Sternberg; técnica da Cromatografia e método de Colbert.

2.3.3 - Reologia do Asfalto

O asfalto é um material visco-elástico e pode exibir tanto um comportamento elástico como viscoso, ou uma combinação destes dois comportamentos, dependendo da temperatura e do tempo no qual o asfalto é observado.

Em temperaturas suficientemente baixas e/ou em altas taxas de carregamento (frequência), o asfalto reage essencialmente como um sólido elástico. Quando a temperatura aumenta e/ou quando a taxa de carregamento reduz a propriedade viscosidade do asfalto se torna mais evidente. Em temperaturas altas e/ou em longo tempo de aplicação de cargas, asfalto é essencialmente um líquido Newtoniano e pode ser descrito por um valor de viscosidade independente da taxa de aplicação de carga.

As propriedades reológicas dos asfaltos podem influenciar significativamente no desempenho das misturas asfálticas durante a mistura, a compactação e em serviço. Por estas razões, vários tipos de ensaios reológicos são incluídos nas especificações dos asfaltos. As propriedades reológicas dos asfaltos são determinadas pelas interações moleculares (forças moleculares), que por sua vez dependem da composição química.

Em princípio, as propriedades reológicas desejadas para o asfalto podem ser conseguidas mudando a composição química do asfalto usando um aditivo ou uma modificação através de reação química. A adição de polímeros é um jeito versátil de modificar a reologia dos asfaltos. Muitos tipos de polímeros são aproveitáveis, entretanto, não há um polímero universal e uma seleção deveria ser feita de acordo com as necessidades (LU et al, 1999).

Segundo o DNIT (1998), as propriedades reológicas de um CAP variam enormemente com a variação da temperatura, mas a forma dessa variação não é igual, já que ela varia de forma personalizada em cada CAP, por ser função de dependência direta da sua susceptibilidade térmica, que por sua vez, depende diretamente da constituição química e da forma como as micelas e o meio intermicelar se arrumam para atingir o equilíbrio coloidal estável.

Como fator altamente complicador, aparece ainda o envelhecimento do CAP ao longo de sua vida útil. É sabido que o envelhecimento se dá pela oxidação de moléculas polarizáveis dos maltenos, que se tornam polares, e passam a fazer parte da fração asfaltenos. Com isso, ao longo da vida do CAP no pavimento, ele vai gradativamente aumentando a quantidade de asfaltenos e na mesma proporção, diminuindo a quantidade de maltenos. Isto leva o CAP a um endurecimento gradativo, já que o equilíbrio coloidal está permanentemente se deslocando no sentido do aumento das propriedades GEL, e em conseqüência, o CAP vai ficando com a susceptibilidade térmica cada vez menor. Isto significa que um CAP pode apresentar uma susceptibilidade térmica dentro da faixa desejada, e logo após a usinagem (quando ocorre o maior grau de envelhecimento do CAP), ir para a pista com esta susceptibilidade completamente fora da faixa desejada. Por essa razão, torna-se necessário um profundo conhecimento da susceptibilidade térmica do CAP, e principalmente, a forma como ela se altera durante o processo de usinagem e ao longo da sua vida útil.

2.4 - FILER

Por definição, filer é um material mineral inerte em relação aos demais componentes da mistura, finamente dividido, passando pelo menos 65% na peneira de 75 µm de abertura de malha quadrada (DNIT-EM 367/97).

Santana (1995) sugere uma definição geral para filer: filer é um material finamente dividido constituído de partículas minerais provenientes dos agregados graúdos e/ou miúdos empregados na mistura asfáltica, ou de outras fontes como é o caso, por exemplo, do pó calcário, cal hidratada, cimento Portland, etc., que se incorpora à mistura asfáltica para melhorar seu desempenho reológico, mecânico, térmico e de sensibilidade à água, devendo obedecer às especificações próprias onde devem estar incluídos limites para a distribuição dos tamanhos das partículas e para a plasticidade.

Segundo Santana (1995), se o pó mineral é proveniente integralmente dos agregados graúdos e miúdos, o mesmo é então chamado de filer natural. Quando o mesmo não existir ou for insuficiente, se obriga a usar o filer comercial ou artificial. É sugerido para o que se tem chamado de pó mineral, a denominação de filer granulométrico que pode ser constituído por 100% de filer natural, por 100% de filer artificial ou por mistura de filer natural com filer artificial. Sabe-se que o filer serve de material de enchimento dos vazios entre agregados graúdos, contribuindo para fechamento da mistura, modificando a trabalhabilidade, a resistência à água e a resistência ao envelhecimento. Em decorrência do pequeno tamanho de partícula e de suas características de superfície, o filer age como material ativo, manifestado nas propriedades da interface filer/cimento asfáltico. Sua adição aumenta a viscosidade do meio coesivo (resistência à deformação). O filer tem dois caminhos de atuação nas misturas asfálticas densas (MOTTA e LEITE, 2000):

As partículas maiores do filer são partes do agregado mineral e preencherão os vazios e interstícios dos agregados graúdos, promovendo o contato pontual entre as partículas maiores e dando maior resistência às misturas.

As partículas menores do filer se misturam com CAP, aumentando sua consistência, cimentando as partículas maiores, o que alguns autores chamam de mastique.

O trabalho de Santana (1995) discute dois pontos de vista da influência de certo tipo de filer sobre certo tipo de asfalto, ou também chamado a influência do mastique: mastique com filer total, assim chamado sob ponto de vista de Celestino Ruiz; e mastique com o filer ativo, assim denominado sob ponto de vista de V. P. Puzinauskas.

Segundo Ruiz (década de 40) em um mastique bem dosado todas as partículas do filer ficam em suspensão no asfalto, suas partículas não se tocando, formando um mastique homogêneo (filer agregado). Segundo Puzinauskas (década de 60) uma parte do filer ainda se porta como um agregado muito fino, suas partículas se tocando, formando um esqueleto mineral, e a outra parte fica em suspensão formando um mastique (filer ativo) (SANTANA, 1995).

Segundo Motta e Leite (2000) a percentagem do material passante na peneira nº 200 (75 μm) tem vários efeitos na densificação de uma mistura particular de agregados finos e grossos, dependendo da granulometria apresentada pelas partículas abaixo deste diâmetro (75 μm), da forma e da natureza das partículas. Abaixo da peneira nº 200 têm-se ainda uma parcela de areia fina, a seguir o silte e a argila. A graduação do material tem efeito no amolecimento ou enrijecimento da mistura.

Se a maior parte do agregado de enchimento que passa na peneira nº 200 (75 μm) é relativamente grossa (maior que 40 μm), a maior parte deste material vai cumprir a função de encher os vazios do esqueleto mineral, decrescendo o índice de vazios e alterando o teor ótimo de CAP. Se o filer for ultrafino, com percentagem significativa do material menor que 20 μm , e até com alguma porção menor que 5 μm , este material atuará muito mais no próprio CAP, incorporando-se ao cimento asfáltico e compondo um filme de CAP, envolvendo as partículas de agregados (MOTTA e LEITE, 2000, HARRIS e STUART, 1995).

O uso da cal hidratada como filer possui um efeito mais significativo, em comparação com o cimento ou com o pó de pedra. Isso porque a cal hidratada tem em geral 80% de partículas de tamanho menor ou igual a 20 μm ; por outro lado o cimento tem uma distribuição muito mais contínua, com diâmetro médio de aproximadamente 60 μm , o pó de pedra por sua vez possui graduação mais grossa com grande proporção de partículas maiores que 40 μm .

A percentagem de material que passa na peneira nº200 (75 μm) tem sido agora, preferencialmente, denominada "dust" (pó) justamente para acentuar a diferença de comportamento e a necessidade de distingui-la do que se denomina tradicionalmente de filer. Quando a percentagem de material passante na peneira nº200 aumenta, reduzem-se os vazios no esqueleto mineral, melhora-se a graduação e a trabalhabilidade da mistura betuminosa aumenta até certo ponto. Acima deste nível, quanto maior a percentagem passante na peneira nº

200, os finos começam a prejudicar a estabilidade do esqueleto mineral, diminuindo os contatos entre as partículas grossas, alterando a capacidade de compactação (MOTTA e LEITE, 2000).

Segundo Motta e Leite (2000) teoricamente quando a quantidade de CAP aumenta além do índice de vazios Rigden, as partículas perdem o contato entre elas e a quantidade adicional de CAP promove uma lubrificação entre as partículas.

Quando a quantidade livre de CAP diminui, a rigidez da mistura aumenta. Quanto mais fino for o pó ("dust"), menor deve ser a relação filer/CAP. O volume livre de CAP é que vai aumentar a espessura de recobrimento das partículas maiores dos agregados. A razão ou porcentagem do volume de CAP livre comparado com o volume total de CAP vai ter um efeito significativo na rigidez do mastique.

Motta e Leite (2000) estudaram o efeito de três tipos de fileres (calcário, cimento Portland e pó de pedra) com três diferentes CAPs (CAP 20, CAP 40 e CAP 85/100). Dos fileres estudados, o calcário apresentou o menor tamanho de partícula; o cimento Portland teve o tamanho intermediário. Foi observado que os corpos-de-prova preparados com filer calcário, utilizando CAP 20 ou CAP 85/100, apresentaram módulos e valores de resistência à tração superior aos obtidos com os demais fileres que apresentam granulometria mais grossa.

O resultado dos ensaios mecânicos, módulo de resiliência e resistência à tração, feitos por Motta e Leite (2000) nos corpos-de-prova acima citados demonstraram o efeito da granulometria do filer na rigidez da mistura betuminosa. Quanto menor o tamanho de partícula do filer, maior a incorporação do mineral no CAP, aumentando a rigidez da mistura. Se por um lado o enrijecimento melhora as propriedades relativas à resistência, à deformação permanente, pode também piorar a resistência à fadiga.

O uso de fileres é importante para diminuir a desuniformidade na consistência e na suscetibilidade térmica provenientes de eventuais irregularidades na produção (ou fornecimento) de cimentos asfálticos e na confecção da massa asfáltica (SANTANA, 1995).

Portanto é importante a adoção de ensaios com o objetivo de determinar o tamanho das partículas de filer, ensaios estes como: distribuição dos tamanhos das partículas ou grãos por sedimentação, peneiras de menor diâmetro (#325 ou #400), por difração a laser, por microscopia, por raios X, por luz polarizada, por condutividade elétrica, entre outros.

Numa baixa fração volumétrica de filer as partículas estão distribuídas, fortuitamente na matriz, formando uma fase continua. Já em uma maior fração haverá uma maior probabilidade das partículas estarem tocando uma as outras e o filer começar a ficar percolável. Quando ocorre o aumento da fração de filer, simultaneamente há uma diminuição gradativa do volume percolável em função do preenchimento da matriz pelo aglomerado de partículas. Esta atividade tem início quando é estabelecido um valor crítico da fração volumétrica de filer, ϕ_{pt} , denominado limite de percolação. Existe também o valor máximo da fração volumétrica de filer, ϕ_{fmax} ,

que pode ser adicionado à mistura. A **Figura 2.5** ilustra a dependência da resistência do revestimento ao parâmetro ϕ_{fmax} . Este modelo é regido pela teoria da percolação onde são utilizados modelos micro mecânicos para descrever o comportamento dinâmico do mastique (SHASHIDHAR & SHENOY, 2002).

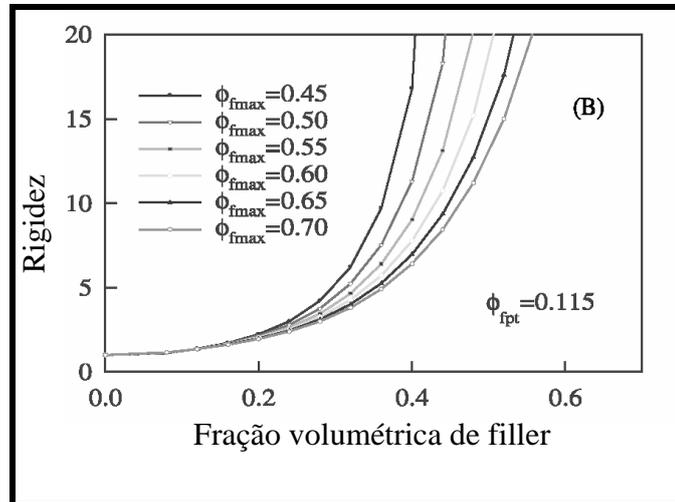


Figura 2.5 - Relação entre a rigidez e a fração volumétrica máxima de filler (Shashidar e Shenoy, 2002)

Segundo Shashidar & Shenoy (2002) esta teoria adequar-se satisfatoriamente aos dados experimentais adquiridos, uma vez que fatores tais como: forma, tamanho médio, distribuição das partículas e o grau de aglomeração, que são acarretados pela presença do filler na mistura asfáltica, irão afetar a rigidez do mastique e o limite de percolação e, deste modo, esses fatores devem ser considerados nos modelos micro mecânicos.

2.5 - CONCRETO ASFÁLTICO

A mistura asfáltica executada em usina apropriada é denominada de concreto asfáltico (CA), ou usualmente chamada de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente). Segundo o DNIT ES 313/97 o concreto asfáltico é constituído de agregado mineral graduado e cimento asfáltico, espalhado e compactado à quente, com características de estabilidade, vazios e relação betume - vazios definidas na especificação de serviço.

Segundo Petrucci (1998), concreto asfáltico é uma mistura de agregado graúdo (retido na peneira nº 4), agregado fino (passando na peneira nº 4) e filler mineral (passando na peneira nº 200) com cimento asfáltico. Constitui o tipo mais nobre de revestimento asfáltico, executado com rigoroso controle de dosagem e cuidadosa técnica de aplicação. Possui elevada estabilidade e excepcional característica de durabilidade, sendo o revestimento recomendado para pesadas condições de tráfego.

Segundo Pinto e Preussler (2002), conforme a posição relativa e a função na estrutura, concreto asfáltico deve atender às características especiais em sua formulação, recebendo geralmente as seguintes designações:

- *camada de rolamento ou capa asfáltica*: camada superior da estrutura responsável em receber diretamente a ação do tráfego. A mistura empregada deve apresentar estabilidade e flexibilidade compatíveis com o funcionamento elástico da estrutura e condições de rugosidade que proporcionem segurança ao tráfego, mesmo sob condições climáticas e geométricas adversas;

- *camada de ligação ou binder*: camada posicionada imediatamente abaixo da capa. Apresenta, em relação à mistura utilizada para camada de rolamento, diferenças de comportamento, decorrentes do emprego de agregados de maior diâmetro máximo, de maior porcentagem de vazios e menor relação entre betume e vazios;

- *camada de nivelamento ou regularização*: serviço executado com massa asfáltica de graduação fina, com a função de corrigir deformações ocorrentes na superfície de um antigo revestimento e, simultaneamente, promover selagem de fissuras existentes.

O concreto asfáltico, sendo uma mistura de materiais granulares e cimento asfáltico, herda as suas principais características visco-elásticas. Seu comportamento é fortemente influenciado por parâmetros de misturas, como a porcentagem de vazios (compacidade), a frequência de aplicação da carga e a temperatura.

Tradicionalmente, o teor de cimento asfáltico é estimado a partir dos resultados obtidos com a realização do ensaio Marshall, pela otimização de cinco parâmetros: a estabilidade, a densidade, a porcentagem de vazios, a relação betume/vazios e a fluência (DNIT-ME 043/95).

Os concretos asfálticos sofrem deformações permanentes excessivas ao longo da vida útil do pavimento de modo a torná-los inadequados ao uso. Três mecanismos que se traduzem em irregularidade, caracterizam as deformações permanentes na superfície do concreto asfáltico, são eles: deformação permanente com origem estrutural; deformação permanente por fluência e deformação permanente por uso.

O projeto de uma mistura asfáltica deve atender: resistência à deformação permanente; resistência à fadiga; resistência ao trincamento devido às baixas temperaturas; durabilidade; resistência à ação da água; resistência ao polimento e trabalhabilidade.

A composição volumétrica dos concretos asfálticos é de importância fundamental para a estabilidade e durabilidade dos pavimentos. Em geral, os concretos asfálticos, após a compactação, não devem ter teor de asfalto menos que 4%, valores menores causaria a perda da estabilidade da mistura. Por outro lado o teor de asfalto não deve ser superior a 8% para garantir a durabilidade.

O projeto de um concreto asfáltico para pavimentação constitui um estudo de seleção e dosagem dos materiais constituintes, a fim de enquadrá-los economicamente nas especificações estabelecidas, garantindo, ao mesmo tempo, as seguintes características para a mistura:

- quantidade de asfalto necessária e suficiente para envolver as partículas de agregados, proporcionando ao conjunto suficiente aglutinação e impermeabilização, assegurando assim uma razoável durabilidade;
- estabilidade suficiente para evitar deformações e deslocamentos sob a carga do tráfego previsto;
- existência de vazios necessários na mistura, que asseguram o indispensável espaço necessário à provável expansão do asfalto e à eventual compactação posterior pelo tráfego;
- trabalhabilidade suficiente para permitir o espalhamento da mistura em condições normais de construção.

Quatro são os principais métodos de projeto de mistura para concreto asfáltico: método Marshall; método Hubbard–Field; método Hveem e método triaxial de Smith. Cada um desses possui critérios próprios que objetivam o estabelecimento de relações entre os ensaios de laboratório e os resultados obtidos no campo, sob condições usuais de serviço.

Na composição da mistura asfáltica podem ser observadas, dentro de certos limites, as seguintes recomendações:

As diferentes proporções dos agregados graúdos, dos agregados miúdos e de filer são essenciais para composição de vários concretos asfálticos. Nas misturas que apresentam textura aberta predominam os agregados graúdos e nas que apresentam textura fechada predominam os agregados miúdos. As misturas para revestimento contêm, normalmente, maior quantidade de filer que as destinadas à camada de “binder”.

2.6 - RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduos sólidos são aqueles nos estados sólidos e semi-sólidos (pastoso), que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento da água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades torna inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos da água, que exigem para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 10004, 2004).

O volume de resíduos sólidos lançados sobre o ambiente aumenta a poluição do solo, águas e ar, agrava as condições de saúde da população. O volume tem crescido assustadoramente e uma das soluções imediatas seria reduzir ao máximo esse volume com a reutilização ou reciclagem.

2.6.1 - Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Um dos principais problemas vivenciados hoje pelas empresas na área de meio ambiente no Brasil, relaciona-se ao gerenciamento dos resíduos industriais. São inclusive, questionadas as condutas das empresas que prestam serviços quanto à disposição de resíduos, uma vez que não apresentam coerência com a realidade observada no setor (ALVES, 1998).

Thiensen (2001), descreve uma metodologia de minimização de resíduos, utilizando técnicas aplicadas à eliminação, redução e controle de resíduos que causam a contaminação do meio ambiente. O autor salienta a importância de se evitar a produção do resíduo e sugere uma hierarquia na escolha das opções de gerenciamento, em um intervalo de maior para menor prioridade na escolha dessas opções apresentadas no **Quadro 2.1**.

O gerenciamento de resíduos inclui prevenção de poluição. A prevenção da poluição refere-se a eliminação, a troca ou a redução de prática de operação da qual resulta em descarte do solo, do ar ou da água. Aos princípios de prevenção devem ser incorporados um plano e gerenciamento nos processos de exploração e beneficiamento com planejamento de atividades associadas, bem como aplicações de hierarquia descrito no **Quadro 2.1**. Se a eliminação dos resíduos não for possível, então, minimizar a quantidade de resíduo produzido, deverá ser estudado (E & FORUM, 1993).

Quadro 2.1 - Hierarquia de gerenciamento de resíduos

Técnicas	Descrição
Eliminação	Completa eliminação de resíduos
Redução na fonte	Evitar, reduzir ou eliminar o resíduo, geralmente dentro da unidade de produção, através de mudanças no processo ou nos procedimentos industriais.
Reciclagem	É o uso, reuso e reciclagem de resíduos para propósitos originais ou outros propósitos. A utilização de matéria-prima em outro processo, na recuperação de materiais ou na produção de energia.
Tratamento	A destruição, desinfecção e neutralização dos resíduos em substâncias menos nocivas.
Disposição	A liberação de resíduos no ar, água ou solo em formas apropriadas de controle, ou seja, formas seguras para diminuir sua periculosidade. A disposição segura do resíduo no solo envolve a redução de volume, a concentração do lixiviado, o encapsulamento e técnicas de monitoramento.

Fonte: Thiensen (2001).

A minimização da quantidade de resíduos pode gerar benefícios para as empresas, criando oportunidades para melhorar seu desempenho econômico e ambiental. As ações que levam a esses benefícios são: a redução na dependência da matéria-prima, a diminuição de custos de produção, a melhoria da imagem da empresa perante a sociedade em relação ao meio ambiente e o aumento da capacidade de competir no mercado (THIENSEN, 2001).

2.6.2 - Classificação dos Resíduos Sólidos

Segundo a norma ABNT NBR 10004 (2004) os resíduos sólidos são classificados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, indicando quais resíduos devem ter manuseio e destinação mais rigidamente controlados.

A classificação dos resíduos sólidos, segundo a ABNT a partir da NBR 10004 (2004) baseia-se nas características dos resíduos e da sua periculosidade, segundo padrões de concentração de poluentes, a saber:

- Anexo A - Resíduos perigosos de fontes não específicas;
- Anexo B - Resíduos perigosos de fontes específicas;
- Anexo C - Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos;
- Anexo D - Substâncias agudamente tóxicas;
- Anexo E - Substâncias tóxicas;
- Anexo F - Concentração - limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação;
- Anexo G - Padrões para o ensaio de solubilização;
- Anexo H - Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.

Os resíduos sólidos são classificados como: Resíduo classe I - perigosos; Resíduo classe II – não perigosos; Resíduo Classe II A - não inertes; e Resíduo classe II B – inertes.

Resíduo classe I - perigosos

São classificados como Resíduo classe I - perigosos, os resíduos sólidos ou mistura de resíduos que, em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar risco à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento de mortalidade ou incidência de doenças e/ou apresentar efeitos adversos ao meio ambiente, quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.

Os resíduos que submetidos ao ensaio de lixiviação, conforme norma da ABNT NBR 10005 (2004) "Lixiviação de Resíduos - Procedimento", apresentarem teores de poluentes no extrato lixiviado em concentração superior aos padrões constantes do anexo F - limite máximo no extrato obtido no ensaio de lixiviação são classificados como perigosos.

Os valores padronizados no anexo F se referem exclusivamente a alguns metais pesados e pesticidas. Assim sendo, o ensaio de lixiviação se aplica somente aquele resíduo que apresentam entre seus constituintes um ou mais dos elementos e substâncias constantes do anexo F da NBR 10004 (2004).

Resíduo classe II A - não inertes

São classificados como Resíduo classe II – não perigosos os que não se enquadram na classe I - perigosos ou na classe II B - inertes.

Estes resíduos podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduo classe II B - inertes

São classificados como Resíduo Classe II A - não inertes os resíduos que, submetidos ao ensaio de solubilização, conforme a ABNT e a partir da NBR 10006 (2004) - "Solubilização de Resíduos - Procedimento", não tenham nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões definidos no anexo G - "Padrões para o ensaio de solubilização".

Como ficaram demonstrados, os resíduos são classificados em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas e com base na identificação de contaminantes presentes em sua massa.

2.7 - RESÍDUO PROVENIENTE DO PROCESSAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS

Os principais países produtores de rochas ornamentais são classificados em três grupos: Grupo A, países cuja produção encontra-se em redução: Suécia, Noruega, França, Alemanha, Bélgica e Suíça; Grupo B, países que dispõem de boas reservas, mas que se encontra em dificuldades comerciais e ecológicas para o seu desenvolvimento: Portugal, Japão, Grécia, Cuba, México e Estados Unidos; Grupo C, países que dispõem de importantes recursos geológicos e onde a produção se encontra em pleno desenvolvimento: Espanha, Índia, Brasil, Finlândia e China. (VIDAL e STELLING, 1995).

“Quanto ao mercado interno, a demanda de produtos acabados apresenta um forte potencial de expansão. Atualmente, a produção de rochas ornamentais no Brasil é estimada em 45 milhões de t/ano e vem apresentando um crescimento de 6% ano, ao longo dos últimos 5 anos. Os mármore representam cerca de 50% e os outros 50% são atribuídos aos granitos. Em termos regionais, aproximadamente 70% do território paraibano é formado por rochas graníticas, gnássicas, migmatíticas e quartizíticas do embasamento cristalino pré-cambriano (FARIAS, 1995)”.

Embora o Brasil disponha de condições geológicas e infra-estrutura que indicam um potencial de desenvolvimento de sua produção, participa somente com 2% das trocas internacionais de mármore e granitos (FARIAS, 1995).

Como conseqüências dos processos de industrialização do setor de beneficiamento de rochas ornamentais são gerados resíduos sólidos, líquidos ou gasosos. Esses subprodutos, quando descarregados sem quaisquer cuidados, representam um risco em potencial à saúde pública e ao meio ambiente.

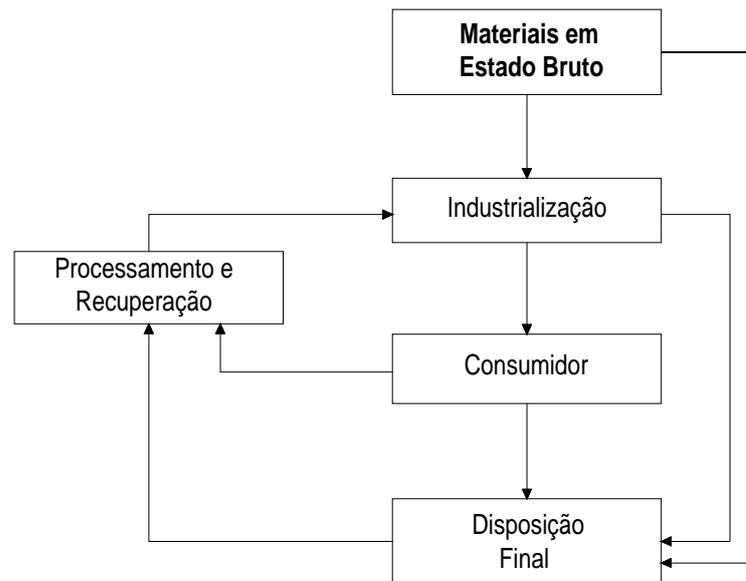
Do ponto de vista econômico, a geração desordenada e a deposição final sem critérios para proteger o meio ambiente podem ser identificados como fontes de desperdício de insumos e de matérias primas. Sob condições adequadas, estes materiais podem ser reaproveitados, diminuindo assim o consumo dos recursos naturais e a necessidade de tratamento, armazenamento ou eliminação dos resíduos, tendo-se como conseqüência, a redução dos riscos gerados.

Nas regiões onde se processam as atividades de beneficiamento de rochas ornamentais, os resíduos provenientes das empresas podem ser responsáveis pela contaminação direta dos rios ou do próprio solo, além de serem responsáveis pela desfiguração da paisagem, o que vem preocupando as autoridades e a população (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 - Impactos durante o beneficiamento das Rochas Graníticas [Fonte: IBRAM (1992)].

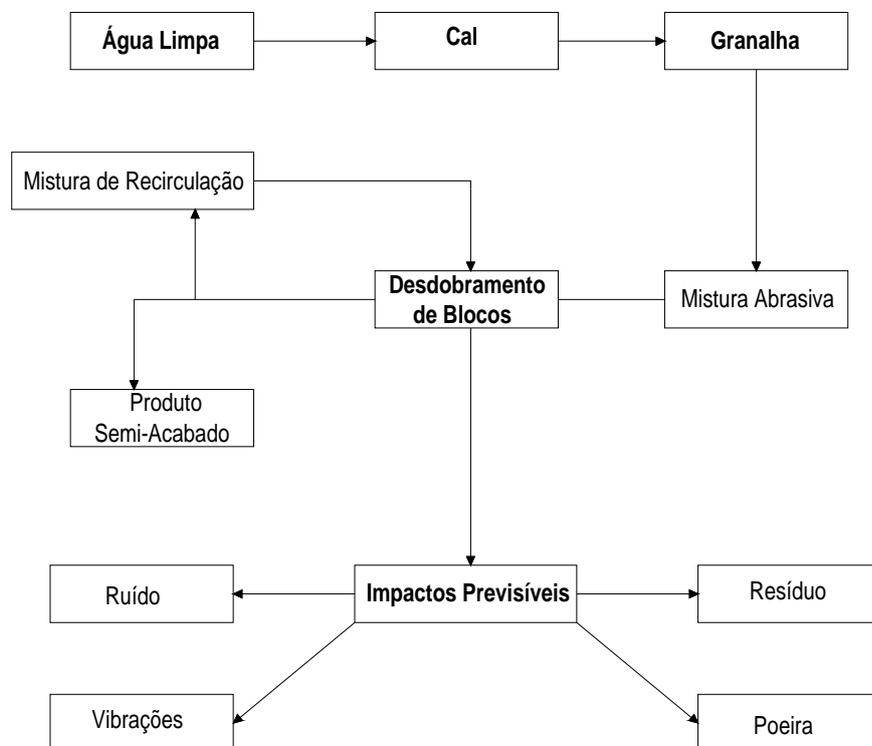
Tipo	Causas do Impacto	Parâmetro Gerador
Serragem do Bloco	Lançamento do resíduo sob a forma de polpa em tanques de deposição ou nos cursos d'água	Incremento de turbidez e sólidos sedimentáveis. Pode ocorrer solubilização de metais pelo tempo de contato com a água
Polimento e Corte	Lançamento do resíduo sob a forma de polpa em tanques de deposição ou nos cursos d'água podendo conter insumos químicos incorporados	Incremento de turbidez e sólidos sedimentáveis. Pode ocorrer presença de substâncias orgânicas

O **Fluxograma 2.1** indica o uso de materiais em um sistema econômico a as possibilidades de seu reaproveitamento, desde que sejam observados critérios sanitários e ambientais adequados. A composição de materiais alternativos, tendo-se como constituintes os resíduos gerados na empresas de transformação de rochas, poderá promover o aparecimento de novas oportunidades de trabalho e renda, imprescindíveis ao processo de desenvolvimento. O aproveitamento de resíduos, nesse setor, deve ser encarado como atividade complementar, que poderá, inclusive, contribuir para a redução de custos finais, a partir da adição de algum valor ao resíduo.



Fluxograma 2.1 - Uso de materiais em um sistema econômico e as possibilidades de seu reaproveitamento [Fonte: MOLLER e BARROS (1995)]

No **Fluxograma 2.2** - estão inseridas as atividades geradoras dos resíduos de rochas ornamentais.



Fluxograma 2.2 - Origem da serragem de blocos de granito [Fonte: GIUNTON (1993)]

Portanto, é imprescindível a mudança de conceitos ultrapassados bem como a implantação de uma política que concilie o aproveitamento racional dos recursos naturais, com o desenvolvimento de novas tecnologias. O intercâmbio entre as Universidades e as empresas do setor represente, assim, o desenvolvimento de tecnologias alternativas, para que uma atividade industrial não venha a causar danos irreparáveis ao meio ambiente (IBRAM, 1992).

Os responsáveis pelas empresas de beneficiamento de rochas ornamentais devem estar conscientes do papel relevante que exercerão nas áreas onde atuam, procurando reduzir os impactos causados na suas respectivas cadeias produtivas.

2.7.1 - Características Mineralógicas e Geológicas do Granito

Do ponto de vista geológico, o granito é uma rocha leucocrática de origem ígnea, consolidada a partir de um magma resultante de diferenciação magmática em profundidade e, portanto, de granulação média a grosseira. Sua composição é ácida com teores de sílica maiores que 66% (geralmente em torno de 72%), e a sua mineralogia é definida pela predominância de feldspato potássico, oligoclássico subordinado, biotita acompanhado ou não por hornblenda ou moscovita.

Baseado nos teores relativos de alcali-feldspato e plagioclásio, dois tipos de granito podem ser reconhecidos: os alcali-granitos, com taxa de alcali-feldspatos: plagioclásio maior que 7:1; os granitos calco-alcalinos, com taxa que variam de 5:3 a 7:1.

Os granitos têm, geralmente, uma cor branca, rosa e cinza claro, sendo esta última a predominante. Se existir predominância de minerais ferromagnesianos, a cor se aproxima de cinza escuro ou esverdeado (FREIRE & MOTTA, 1995).

2.7.2 - Caracterização do Resíduo da Serragem do Granito

O sistema de beneficiamento de rochas ornamentais, através dos teares, gera uma grande quantidade de resíduo em forma de lama. Durante a operação de corte dos blocos, a composição da mistura abrasiva nos teares passa por grandes variações em um curto espaço de tempo. Isto ocorre devido ao incremento de fragmento de rochas (pó), resíduos metálicos da granalha e das lâminas de corte (ROCHAS DE QUALIDADE, 1993).

Se tais fragmentos não forem removidos periodicamente, a mistura reunirá cada vez mais sólidos, aumentando consideravelmente sua viscosidade.

O controle da viscosidade é realizado acrescentando-se periodicamente água e descartando-se a parcela da mistura de menor granulometria, que é bombeada para um tanque onde é efetuada a separação da

mistura de maior granulometria. Nos casos mais gerais, esta separação é feita por densidade, deixa-se o tanque ser preenchido completamente e separa-se a fração de menor granulometria que se posiciona na região superficial, de onde será descartada por transbordamento (ROCHAS DE QUALIDADE, 1993).

A partir deste descarte, o resíduo é transportado e, posteriormente, depositado em poços e lançados em tanques de deposição final (**Figura 26**). Uma vez cessada esta capacidade, o volume depositado é removido para que o tanque fique novamente pronto para estocagem de nova quantidade de resíduo.



Figura 26 - Tanque de disposição final da empresa Polygram S/A [Fonte própria]

Baseado nos estudos de Silva (1998) destaca-se a caracterização do resíduo, quantos aos aspectos químico e físico (morfológico e granulométrico). Para tanto, o autor fez análises das amostras coletadas de diferentes teares, localizados na região sul do estado do Espírito Santo, sendo proveniente da serragem de diferentes rochas graníticas.

Caracterização química

Segundo Silva (1998), a composição das diferentes amostras dos resíduos gerados na transformação dos blocos de rochas individuais apresenta pequenas variações que podem ser consideradas não representativas. E o tipo de rocha que será cortada não proporcionará alterações significativas na composição do resíduo final a ser utilizado.

Caracterização morfológica e microestrutural

Os ensaios realizados por Silva (1998) visaram caracterizar a morfologia, dimensão e os constituintes químicos das amostras, utilizando o microscópio eletrônico de varredura (MEV) e micro-análise quantitativa (EDX), e identificar os componentes mineralógicos, através da difração de raio-X. Segundo demonstram as análises, as amostras possuem basicamente três fases distintas: branca, cinza claro e cinza escuro.

A fase branca é caracterizada pela presença do elemento ferro (93%) e por outros elementos Si (5%), Ca e Al em menor quantidade. Esta fase constitui a fração metálica do resíduo. A fase cinza claro é caracterizada como sendo constituída de outros componentes da mistura abrasiva [cal e resíduo da própria rocha, Si (40%)]. A fase cinza escuro é caracterizada pela presença de elementos da própria rocha granítica.

A fase branca é constituída de partículas de morfologia irregular e superfícies arredondadas e as demais fases possuem morfologia regular e cantos arredondados. O resíduo apresenta 71,65% de materiais pulverulentos (partículas menores que 0,075mm) e 0,3mm como dimensão máxima característica. A partir da análise dos espectogramas, os componentes mineralógicos encontrados com predominância são: quartzo, feldspatos e minerais do grupo das micas (SILVA, 1998).

Caracterização granulométrica

As distribuições dos resíduos correspondentes às frações que se referem às partes metálicas e não-metálicas apresenta: 71,65% de materiais com dimensões inferiores a 0,075mm e a fração não-metálica com 76,99% e a fração metálica com 39,65%.

Geralmente os resíduos apresentam 0,16 de módulo de finura, enquanto a fração não-metálica apresenta 0,12 e a fração metálica 0,4. A dimensão máxima característica dos resíduos e da fração não-metálica é de 0,3mm, enquanto que, a fração metálica apresenta 0,60mm.

2.7.3 - Utilização de Resíduos como Material Alternativo

Tem sido estudada a aplicação de resíduos produzidos em diversos tipos de indústrias para uso como material na construção civil e, em especial, na pavimentação. Além da preocupação com a execução de pavimentos de baixo custo com desempenho satisfatório, procura-se amenizar danos ambientais que ocorrem com a estocagem desses materiais.

Silva (1998) realizou estudos visando uma possível utilização de escória de aciaria misturada com solo argiloso (A-7-6) para emprego em obras de pavimentação e constatou que a mistura pode ser utilizada em camadas do pavimento.

Gonçalves et al (1986) estudaram a utilização da cinza volante em misturas com solos arenosos. Executaram um trecho experimental com base composta de solo arenoso, cinza volante e cal, onde foi verificado um comportamento satisfatório.

Bodi et al (1995) estudaram a utilização de entulho de construção civil na pavimentação com a finalidade de estabilização de solos. Silva (1998) fez uma abordagem sobre o potencial de aproveitamento do resíduo de serragem de blocos de granito das indústrias do Espírito Santo para aplicação em argamassas de

assentamento e tijolos solo-cimento, cujos resultados mostraram que são potencialmente utilizáveis na produção dos elementos de construção.

Pesquisa realizada por Motta & Freire (1995), sobre o aproveitamento econômico dos resíduos da Serragem de Granito das empresas do município de Guarulhos, mostrou que é possível produzir um novo produto cerâmico, de boa qualidade, com custo inferior aos tradicionais.

O trabalho desenvolvido por Sobrinho (1998) apud Silva (1998) evidencia a possibilidade de utilização dos resíduos provenientes do processamento de granitos e mármore na produção de argamassas alternativas para o uso na construção civil.

Em todas as pesquisas evidencia-se que a utilização de resíduos como material alternativo minimizará os impactos ambientais causados por sua deposição no meio ambiente, além de poder vir agregar serventia a um material, atualmente visto como sem valor econômico.

Gradativamente tem-se aumentado o uso de resíduos como filler em revestimentos asfálticos. Pneu moído e vidro são dois dos mais conhecidos resíduos que foram, com algum sucesso, incorporados em revestimentos asfálticos. Em alguns casos, resíduos podem ser usados para incrementar certas características desejáveis no concreto asfáltico, em outros casos, basta que o problema ambiental de despejo de resíduo seja resolvido, não importando que haja ganho de propriedades no CBUQ. Entretanto espera-se que não ocorra perda de propriedades pela necessidade de se dar fim a um resíduo (REZENDE, 1999).

Os Departamentos de Engenharia Civil, Materiais e Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba vem desenvolvendo pesquisas desde 1997 com o resíduo da serragem de blocos de granito nas áreas: agrícola como corretivo de solo; na área de construção civil como argamassa, tijolos maciços sem queima, elementos de alvenaria e revestimentos cerâmicos com queima; na área rodoviária, recentemente, na melhoria de solos para aplicação em revestimentos primários e materiais de enchimento em concretos asfálticos. Os resultados são promissores, com possibilidade de aplicação em escala industrial.

2.8 - CAULIM

O Brasil possui grande reserva de Caulim, sendo os estados de Amapá, Pará, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul responsável por mais de 99,0 % da oferta de Caulim beneficiado. Em 2000, só os Estados do Amapá e do Pará produziram 84,0 % da oferta nacional. Já os estados Bahia, Paraíba e Paraná também aparecem como produtores de Caulim beneficiado em pequena escala.

O Caulim é uma argila constituída, principalmente por caulinita e/ou haloisita, geologicamente existem dois tipos de Caulim: a) Caulim residual, quando são encontrados no local em que se formaram pela ação de intemperismo ou hidrotermal sobre rochas, esse caulins geralmente se apresenta constituído por quartzo, mica moscovita e por caulinita bem cristalizado, b) caulins sedimentares, quando resultam de transporte, deposição e

purificação de caulins primários ou argilas caulinitas por meio de correntes de água doce e matéria orgânica, esse Caulim apresenta em sua constituição, mica, quartzo e teor de 1 a 2% de dióxido de titânio.

Os impactos ambientais, causados pelas empresas mineradoras de beneficiamento de Caulim primário ou residual, podem ser classificados em duas etapas: na primeira etapa, o impacto é originado pelo primeiro beneficiamento, ou seja, de cada tonelada bruta 70% vira resíduo isto é, no máximo 30% é aproveitado, são frequentemente depositadas às margens das rodovias, estradas e sobre a vegetação nativa e geralmente são compostos por grande quantidade de sílica e pequena proporção de feldspato e mica. Na segunda etapa o impacto ambiental é gerado pelo segundo beneficiamento do material que fica retido em peneira nº 200.

Pesquisa sobre reciclagem de resíduos, principalmente os de mineração, vem sendo desenvolvidas por vários pesquisadores em todo mundo. Segundo NEVES (2002) as razões que motivaram estas pesquisas maneira geral são: redução do impacto ambiental, esgotamento das matérias prima não renováveis, redução de custos, redução do consumo de energia e melhoria na saúde da população.

A potencialidade da industrialização do Caulim no Brasil gera uma constante necessidade de estudos que permitam um aproveitamento racional do resíduo proveniente das indústrias beneficiadoras desse mineral para uso como material de construção.

O Caulim é um material formado por um grupo de silicatos hidratados de alumínio, principalmente caulinita e haloisita. Também podem ocorrer os minerais do grupo da caulinita: diquita, nacrita, folerita, anauxita, colirita e tuesita. Além disso, o Caulim sempre contém outras substâncias sob a forma de impurezas, desde traços até a faixa de 40 – 50% em volume, consistindo, de modo geral, de areia, quartzo, palhetas de mica, grãos de feldspato, óxidos de ferro e titânio, etc. A fórmula química dos minerais do grupo da caulinita é $Al_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot nH_2O$, onde m varia de 1 a 3 e n de 2 a 4 (SILVA, 1993).

A primeira utilização industrial do Caulim foi na fabricação de artigos cerâmicos e de porcelana há muitos séculos atrás. Somente a partir da década de 1920 é que se teve início a aplicação do Caulim na indústria de papel, sendo precedida pelo uso na indústria da borracha. Posteriormente, o Caulim passou a ser utilizado em plásticos, pesticidas, rações, produtos alimentícios e farmacêuticos, fertilizantes entre outros, tendo atualmente uma variedade muito grande de aplicações industriais.

Durante a Segunda Guerra Mundial, foram feitos extensivos estudos das províncias pegmatíticas brasileiras para a extração de minerais estratégicos, como columbita–tantalita, e outros, como mica moscovita em placas para uso como isoladores elétricos (PAIVA, 1946). A partir desses estudos, verificou-se a existência nesses pegmatitos, de grandes depósitos de caulins residuais nas cores rosa e branca passíveis de serem explorados comercialmente. Esses depósitos ocorrem em grandes áreas nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, na serra do Borborema. Inicialmente eram usados para a fabricação de azulejos em Pernambuco e agora são usados na produção de papel (MATTOSO e VIDAL, 1996; FERREIRA, 1972).

As reservas mundiais de Caulim são bastante abundantes e de ampla distribuição geográfica. Porém, apenas 4 países detêm cerca de 95, 0% de um total estimado de aproximadamente 14,2 bilhões de toneladas, São eles Estados Unidos (53,0%), Brasil (28,0%), Ucrânia (7,0%) e Índia (7,0%). As reservas brasileiras de Caulim atingiram, em 2000, um total em torno de 4,0 bilhões de toneladas, das quais 2,2 bilhões são medidas. O somatório destas com as reservas indicadas atingiram 3,7 bilhões de toneladas, correspondendo a 92,5% das reservas totais. Os Estados do Amazonas, Pará e Amapá são as Unidades da Federação com maior destaque, participando, respectivamente, com 63,4%, 18,9% e 8,9% do total das reservas. No período de 1988 a 2000, pode-se destacar o significativo incremento das reservas de Caulim, ocorrido em 1996, passando de um patamar em torno de 1,6 bilhões de toneladas para 4,0 bilhões, face às descobertas do Estado do Amazonas, ainda não aproveitadas.

2.8.1 - Beneficiamento do Caulim

O beneficiamento do Caulim é realizado em três etapas: decantação, filtração e secagem e moagem.

Decantação

O processo de decantação tem como finalidade classificar as parcelas da mistura de acordo com a sua granulometria para destiná-las, respectivamente, à sua utilização final. O material é disperso em água e se inicia a primeira lavagem do material bruto seguido de seu transporte por gravidade até o coberto de peneiramento. Nesse transporte se realiza a separação do material grosso da mistura facilitando o peneiramento. Nessa etapa já se verifica uma grande quantidade de resíduo produzido correspondendo ao resíduo grosso na obtenção do mineral Caulim.

O coberto é formado por um conjunto de peneiras nº 200, de abertura 0,075mm, e peneiras nº 325, de abertura 0,044mm, que estão empilhadas em ordem crescente da abertura da malha, nesse sistema a mistura é classificada de acordo com as dimensões de suas partículas: todo o material que passa nas peneiras nº 200 corresponde ao Caulim que será beneficiado, caso se faça necessário um melhor refinamento do minério, ele é passado nas peneiras nº 325.

O material retido nas peneiras de abertura 0,075mm é rejeitado e consiste no resíduo fino da cadeia produtiva do Caulim. Este material é conhecido, usualmente, como a "Borra do Caulim".

O material peneirado é bombeado, por gravidade, através de tubulações para um sistema de tanques onde se inicia a fase de decantação e sedimentação, segunda lavagem do Caulim. Este sistema é formado por seis tanques: o primeiro tanque recebe a mistura e é preenchido completamente com água destilada, nele ocorre à separação da fração de maior granulometria através da sedimentação. A **Figura 2.7** mostra um destes tanques.



Figura 2.7 - Tanques utilizados para a decantação e sedimentação do Caulim [Fonte própria]

As frações mais finas, que se posicionam na região superficial, passam por transbordamento para o segundo tanque, que apresenta um desnível de altura em relação ao primeiro, onde acontece a sedimentação da fração mais grossa e a parcela mais fina é transbordada para o terceiro tanque. Neste se dar o mesmo procedimento de sedimentação descrito, acontecendo o mesmo no quarto tanque.

A água superficial que não transborda é vazada para um outro tanque de onde é reciclada para fase inicial de dispersão do minério bruto. Um dos materiais sedimentados, em cada um dos tanques, é escolhido, de acordo com a utilização final e destinado ao tanque de vazamento, de onde será retirado para a realização do segundo processo da cadeia produtiva.

Filtração

Neste processo é retirada, com o maior aproveitamento possível, a água misturada com o Caulim proveniente do tanque de vazamento, reduzindo assim a umidade do mineral. Este processo é realizado através do método da prensagem, em que a mistura é recalçada para dentro de uma prensa, por meio de uma bomba de recalque. Retida na prensa a mistura é prensada e, assim, a água é eliminada da mistura, os vazios são compactados e o Caulim fica armazenado na forma de blocos.

A **Figura 2.8** mostra uma prensa utilizada no processo de filtração na qual a água é retirada e o Caulim é prensado.

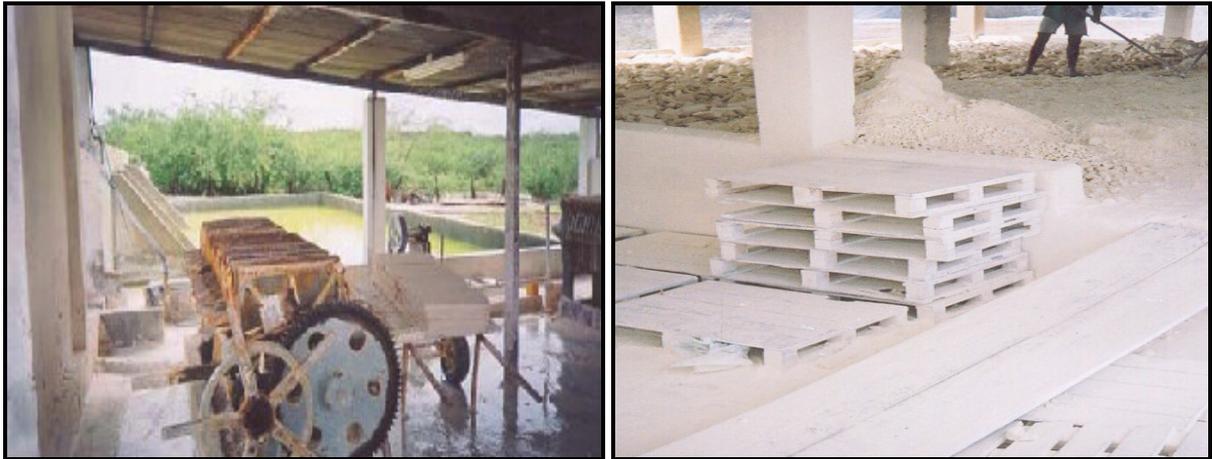


Figura 2.8 - Prensa e armazenamento do Caulim em forma de blocos [Fonte própria]

Secagem e moagem

Para a perda total da umidade os blocos de Caulim são encaminhados à fase de secagem, na primeira etapa eles são expostos ao sol e as correntes de ar onde ficam parcialmente secos. Posteriormente os blocos de Caulim são dispostos no forno para a completa secagem do material, nessa etapa ocorre à desagregação das partículas. Em seguida, é feito o destorroamento do material para facilitar a técnica da moagem. Todo o Caulim é colocado em um moinho e o material coletado corresponde ao Caulim beneficiado, produto final de todos estes processos, sendo finalmente ensacado e destinado à comercialização. Na **Figura 2.9** é mostrado um tipo forno utilizado na secagem final do Caulim.



Figura 2.9 - Tipo de forno utilizado na secagem do Caulim [Fonte própria]

O impacto ambiental proveniente do processo de beneficiamento do Caulim é avaliado pela norma da ABNT NBR 10004/2004. Esta norma tem como objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, com isso fornecendo subsídios a um gerenciamento adequado.

2.8.2 - Impactos Gerados pelo Resíduo Proveniente do Beneficiamento do Caulim

Entende-se por impacto ambiental, uma alteração na qualidade do meio ambiente resultante da modificação de processos naturais ou sociais provocada pela ação humana, ou ainda, como uma alteração na qualidade ambiental em consequência dos efeitos ambientais induzidos por projeto de lavra, como, por exemplo, alteração na qualidade do ar ou das águas (ARAÚJO (1995) apud NEVES (2002)).

Segundo a resolução do CONAMA (01/86), o impacto ambiental pode ser definido como sendo qualquer alteração nas características físicas, químicas e/ou naturais do meio ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades humanas, que direta ou indiretamente afetam:

- a saúde, segurança e o bem estar da população;
- as atividades sociais e econômicas;
- o conjunto de plantas e animais de uma determinada área;
- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- a qualidade dos recursos naturais.

Assim, todo e qualquer efeito que degrada o meio ambiente, decorrente de um processo industrial deve ser considerado, bem como quaisquer alterações que o mesmo possa causar ao meio ambiente, incluindo efeitos sobre a saúde, condições sócio-econômicas, patrimoniais, culturais ou físicos (FELLENBERG, 1980 apud ARAÚJO, 2002).

É durante a fase de lavagem e classificação do tamanho das partículas da mistura que se tem a geração do resíduo da cadeia produtiva do Caulim. Estima-se que é gerada uma grande quantidade de resíduo, pois 70% da matéria-prima bruta é rejeitada durante o processo (BARATA, 2002). Todo material rejeitado é depositado a céu aberto, pois as indústrias beneficiadoras não têm a preocupação de construir tanques de deposição, lançando a imensa quantidade de resíduo no meio ambiente, uma vez que o resíduo em si não é tóxico. A **Figura 2.10** e a **Figura 2.11** ilustram o impacto ambiental gerado pela indústria no processo de beneficiamento do Caulim.



Figura 210 - Impacto ambiental no processo de beneficiamento do Caulim –BR-230 no Município de Soledade, PB [Fonte própria]



Figura 211 - Resíduos do Caulim Lançados no Meio Ambiente, sem Critérios de Proteção Ambiental, às Margens da BR-230 no Município de Soledade, PB [Fonte própria]

Os trabalhos de lavra, que consiste da separação do material inútil, necessário às atividades de mineração do Caulim prejudicam as condições ambientais, esse trabalho é iniciado com a pesquisa, caracterização do corpo e qualidade do minério até atingir as etapas de beneficiamento e transporte dos resíduos.

Durante o processamento do Caulim, ocorre à produção de resíduos líquidos (que são lançados nos rios) e sólidos (geralmente aterrados). Esses resíduos podem conter, além de outros contaminantes, concentração de metais como o Ferro (Fe), Alumínio (Al), Zinco (Zn) e Cádmiio (Cd), acima do permitido pela legislação. Os reflexos dessa contaminação extravasam, freqüentemente, os limites das áreas de trabalho, atingindo também a topografia, flora, fauna, sistema hídrico e morfofisiológico do solo, etc.

Os resíduos provenientes das indústrias beneficiadoras do Caulim, são distribuídos, numa quantidade considerável, diretamente no meio ambiente sem critérios de proteção, sendo causadores de impactos ambientais. O resíduo do Caulim, argila caulinita, causa alterações significativas na qualidade dos recursos hídricos, sendo responsável pela contaminação das águas dos rios deixando-a esbranquiçada e turva. O

material altera quimicamente a água, diminuindo a quantidade de plâncton e provocando a morte de peixes. Além disso, também é responsável pela desfiguração da paisagem.

Embora exista uma preocupação ambiental, por parte das empresas e dos órgãos ambientais, a indústria do Caulim ainda causa transtornos, tais como a produção excessiva de particulados, gerados durante o transporte de Caulim (matéria-prima bruta) e produção de resíduos. Esses resíduos, quando secos, transformam-se em pó e, pela ação dos ventos, esse pó espalha-se pelas ruas e avenidas, poluindo o ar e comprometendo o aspecto visual do local onde a empresa atua (ROCHA, 2005).

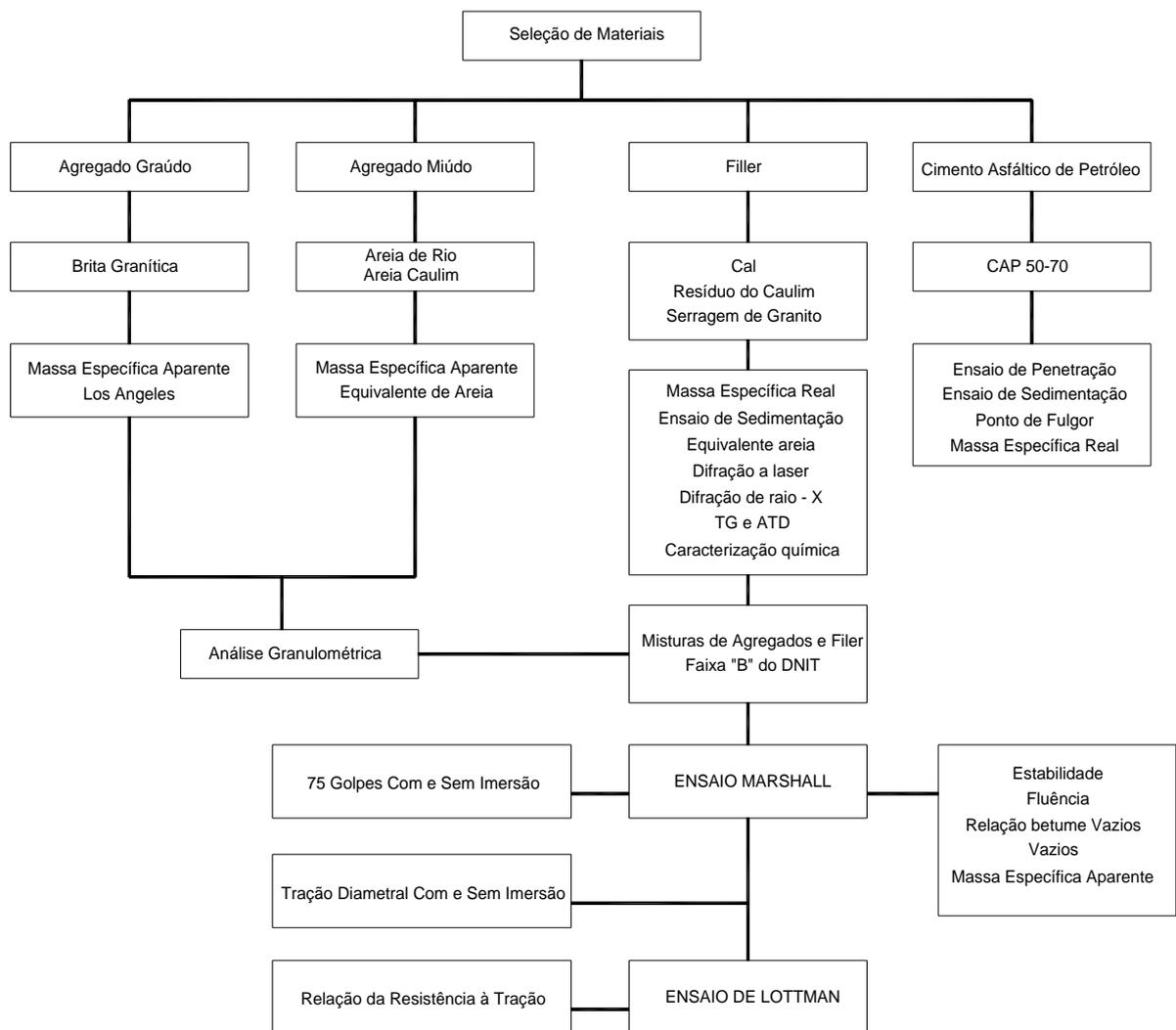
Visando a mitigar tais impactos, algumas empresas do ramo, juntamente com os órgãos competentes, têm elaborado planos acompanhados de projetos para aprovação de novas áreas a serem mineradas, legalizações das minas em atividade e recuperação das áreas já desativadas. Como um desses exemplos, cita-se a Empresa de Mineração Caolinita, que há 48 anos possui sua sede no município de Ubá-MG. Essa empresa conta com o apoio da SIF/UFV para a elaboração e a execução de projetos que visam à legalização ambiental de seus trabalhos junto a FEAM - MG (Fundação Estadual do Meio Ambiente).

Depois de obtido suporte teórico sobre os materiais alvo da pesquisa e da problemática que venha a ser a susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água, tem-se o cenário apropriado para o desenvolvimento da pesquisa, que se inicia com a seleção e caracterização dos materiais e ensaios com as misturas.

CAPÍTULO 3

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa, relatam-se os experimentos desenvolvidos na pesquisa, com os aspectos dos materiais utilizados, à preparação das amostras, as metodologias e especificações para caracterização dos mesmos. O **Fluxograma 3.1** apresenta os tipos de materiais e a seqüência de atividades e ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa.



Fluxograma 3.1 - Seqüência de atividades e de ensaios realizados na fase experimental da pesquisa

3.1 - MATERIAIS

Os materiais foram disponibilizados pela ATECEL em parceria com o DEC/CCT/UFPG. A Serragem de Granito foi cedida pela empresa de beneficiamento de rochas ornamentais POLIGRAN, de Campina Grande, PB. O resíduo de Caulim foi disponibilizado por empresas localizadas às Margens da BR-230 no Município de Soledade - Paraíba.

3.1.1 - Agregado Graúdo

O agregado graúdo (Brita 19–3/4") utilizado foi do tipo granítico designado como comercial (**Figura 3.1**).



Figura 3.1 – Agregado do tipo granítico – Brita 19 ou 3/4" [Fonte própria]

3.1.2 - Agregado Miúdo

Quanto ao agregado miúdo, optou-se em utilizar a areia do rio Paraíba, tipo quartzosa (**Figura 3.2**).



Figura 3.2 - Agregado do tipo quartzosa – Areia de rio [Fonte própria]

3.1.3 - Resíduo de Caulim

A utilização do resíduo de Caulim na mistura asfáltica foi feita de duas formas: a primeira como filer, e a segunda em substituição ao agregado miúdo (Areia), este por sua vez, foi lavado na peneira Nº 200 e seco em estufa de acordo com a norma (DNIT-ME 043/95). O resíduo de caulim foi coletado nos depósitos localizados a céu aberto no município de Soledade no Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil (**Figura 3.3**).



Figura 3.3 – (a) Caulim utilizado como agregado miúdo, (b) Caulim utilizado como filer [Fonte própria]

3.1.4 - Serragem de Granito (Filer)

Diferentemente do resíduo de Caulim, a “Serragem de Granito”, proveniente do corte de rochas ornamentais, foi utilizada apenas como filer, visto que, a sua forma final na disposição já é sob a forma pulverulenta, resultado do beneficiamento das rochas através de corte etc. As amostras foram coletadas em depósitos da empresa de beneficiamento POLIGRAN – Campina Grande – Paraíba (**Figura 3.4**).



Figura 3.4 – Serragem do granito [Fonte própria]

3.1.5 - Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O CAP utilizado na pesquisa foi do tipo 50/70, cujas especificações estão de acordo com o Departamento Nacional de Petróleo (DNP) e a Agência Nacional de Petróleo (ANP) (Figura 3.5).



Figura 3.5 – Cimento asfáltico de petróleo utilizado na pesquisa (CAP) [Fonte própria]

3.2 - MÉTODOS

O procedimento escolhido para realização da fase experimental da pesquisa foi empírico e com adoção de suporte teórico, baseado na revisão da literatura. A escolha dos métodos de ensaios foi posteriormente utilizada para alcançar os resultados delineados no objetivo do trabalho.

A seguir serão relatados os aspectos, considerados importantes, sobre materiais e métodos dos ensaios realizados em laboratório e que serviram de subsídios para a metodologia proposta. As atividades relacionadas a esta fase foram divididas em três etapas:

Etapa 01 – Caracterização dos materiais;

Etapa 02 – Ensaios com o mastique;

Etapa 03 – Ensaios com as misturas.

Os procedimentos utilizados nesta pesquisa são os propostos pelo Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT. A seguir, serão descritas em detalhes as etapas do experimento.

3.2.1 - Caracterização dos Materiais

Nesta etapa foram realizados os ensaios de caracterização física e química dos materiais.

Caracterização física dos materiais

A caracterização física dos agregados consistiu na determinação das distribuições dos tamanhos das partículas, realizada a partir do ensaio de análise granulométrica por peneiramento, e a determinação da massa específica aparente dos agregados. Os agregados, graúdo e miúdo, usados para a realização dos ensaios, com exceção para o ensaio de absorção, foram colocados em estufa Calibrada à 110°C, por um período de 24 horas.

A caracterização física do Caulim e da Serragem de Granito foi realizada com o ensaio de sedimentação em conjunto com o ensaio para determinação das suas massas específicas. A **Tabela 3.1** apresenta as normas e especificações utilizadas para a caracterização dos agregados e fileres. As distribuições dos tamanhos das partículas dos fileres foram obtidas, também, com o auxílio do aparelho analisador de partículas por difração a laser, “granulômetro”, marca Cilas 1064 LD, com faixa analítica de 0,04 a 500 micron e emissores de laser secundários.

Tabela 3.1 - Normas utilizadas para caracterização dos agregados e fileres

ENSAIOS	METODOLOGIA
Análise granulométrica dos agregados por peneiramento	DNIT - ME 083/98
Massa específica real dos agregados Graúdos	DNIT - ME 081/98
Massa específica real dos agregados Miúdos	DNIT - ME 084/95
Análise granulométrica do filer por sedimentação	DNIT - ME 051/94
Massa específica real filer	DNIT - ME 093/94
Equivalente de areia	DNIT - ME 054/97

As análises termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (TG) foram utilizadas para as estimativas de faixas de temperaturas onde ocorrem transformações endotérmicas e exotérmicas e as temperaturas onde ocorrem perdas de massas.

O ensaio de difração de Raios-x foi utilizado para determinação da composição mineralógica do constituinte químico dos resíduos.

Para uma completa caracterização física dos fileres, foram realizados: o ensaio de Termogravimetria (TG) e o ensaio de Difração de raios – X. Na **Figura 3.6**, na **Figura 3.7** e na **Figura 3.8** estão apresentados os equipamentos utilizados para realização dos ensaios supracitados.



Figura 3.6 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de difração a laser [Fonte própria]



Figura 3.7 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de análise termodiferencial e termogravimétrica [Fonte própria]



Figura 3.8 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de difração de raios-x [Fonte própria]

Caracterização química dos materiais

Os experimentos realizados para obtenção dos constituintes químicos dos materiais utilizados na pesquisa foram conduzidos de acordo com as orientações das normas da ABNT. Procurou-se trabalhar com amostras que, depois de misturadas, apresentassem as mesmas características e propriedades da massa total do material em questão.

Para que um resíduo sólido seja disposto adequadamente é necessário que sua composição química seja determinada segundo os procedimentos sugeridos na NBR 10004/2004 da ABNT. Esta norma estabelece os critérios adotados para a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais para o meio ambiente e à saúde pública.

As normas, relacionadas a seguir, contêm disposições que constituem prescrições para a NBR 10004/2004 da ABNT. ABNT NBR 10005/2004 – Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos; ABNT NBR 10006/2004 – Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos; e ABNT NBR 10007/2004 – Amostragem de resíduos sólidos.

A **Figura 3.9** apresenta os equipamentos utilizados para obtenção dos extratos lixiviado e solubilizado dos materiais estudados.



Figura 3.9 - Equipamentos utilizados para obtenção dos extratos lixiviado e solubilizado dos materiais utilizados na pesquisa [Fonte própria]

A **Figura 3.10** apresenta os equipamentos de Espectrofotometria por Absorção Atômica utilizados para obtenção dos constituintes químicos contidos nos extratos lixiviado e solubilizado dos materiais alvo da pesquisa.

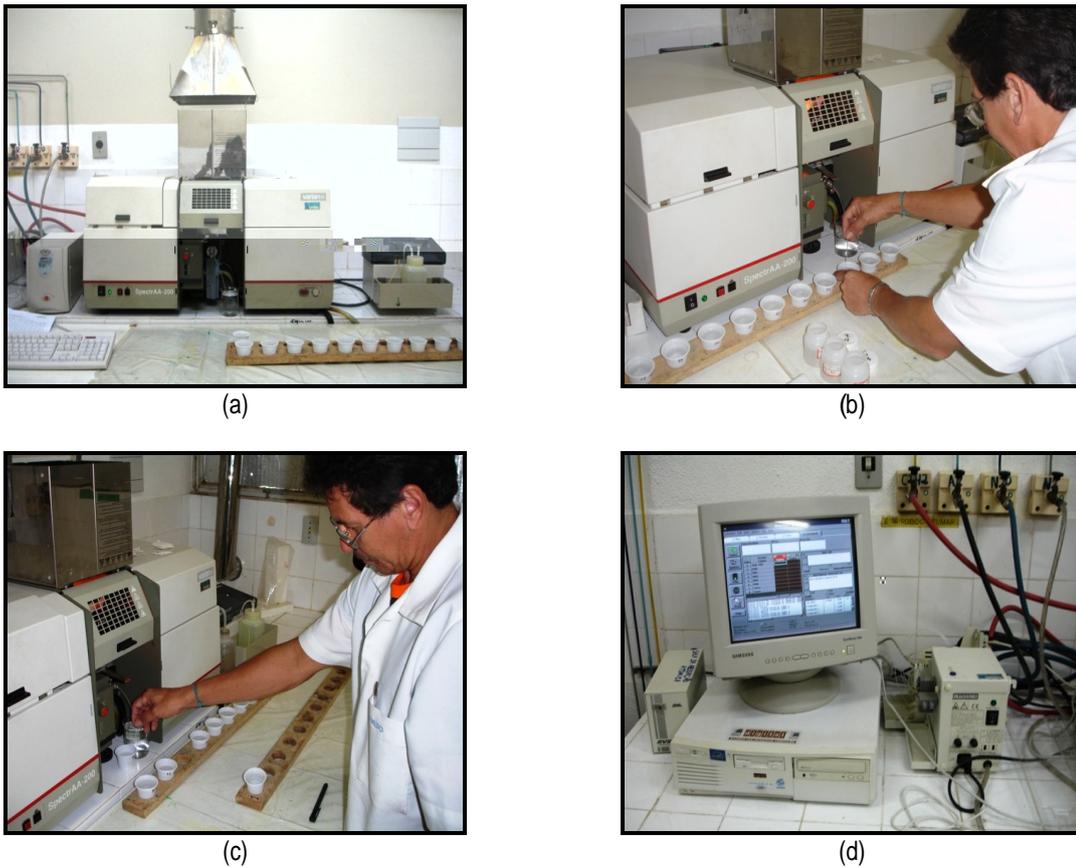


Figura 3.10 – Equipamentos utilizados para realização dos ensaios de análises químicas por Espectrofotometria por Absorção Atômica [Fonte própria]

Como suplemento para a análise química dos materiais foi realizado o ensaio de constituintes químicos convencionais dos resíduos, com a amostra do resíduo do Caulim e Serragem de Granito, as quais foram previamente secas em estufa a uma temperatura de 110°C, e peneiramento ABNT nº200 (0,075mm).

A caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo, CAP, foi realizada de acordo com as normas contidas na **Tabela 3.2.** e com dados obtidos nos seguintes ensaios: ensaio de penetração, determinação do ponto de fulgor, determinação da massa específica e ensaio de viscosidade saybolt-furol.

Tabela 3.2 - Normas utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização do CAP

ENSAIOS	METODOLOGIA
Viscosidade Saybolt Furol	ABNT – MB 517
Penetração	DNIT-ME 003/99
Ponto de fulgor	DNIT-ME 148/94
Massa específica	DNIT ME 117/94

3.2.2 - Ensaios com o Mastique

O estudo da interação dos fileres com o CAP foi realizado com a análise dos resultados obtidos com o auxílio dos ensaios de Penetração e de Viscosidade.

Ensaio de penetração

Os ensaios de penetração foram realizados em três etapas:

- primeira etapa – Cimento Asfálticos de Petróleo.

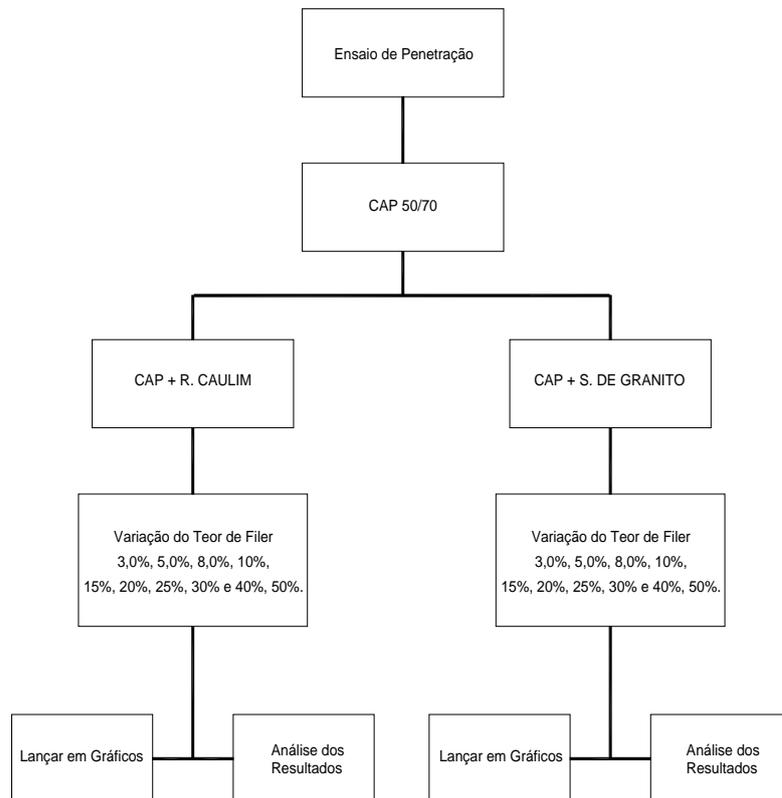
Nesta etapa foram realizados ensaios de penetração apenas com o CAP 50/70.

- segunda etapa – CAP + Resíduo de Caulim

Nesta etapa foram realizados ensaios de penetração com o mastique (CAP+ Resíduo de Caulim) nas proporções 3,0%, 5,0%, 8,0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40%, 50%, em relação ao volume de CAP. Procurou-se com isso, verificar o comportamento do mastique, em relação à viscosidade indireta medida pelo ensaio de penetração, com o incremento do filer.

- Terceira etapa – CAP + Serragem de Granito

Nesta etapa foram realizados ensaios de penetração com o mastique (CAP+ Serragem de Granito) nas proporções 3,0%, 5,0%, 8,0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40%, 50%, em relação ao volume de CAP. Procurou-se com isso, verificar o comportamento do mastique, em relação à viscosidade indireta medida pelo ensaio de penetração, com o incremento do filer. O **Fluxograma 3.2** apresenta, em síntese, a seqüência adotada para a realização dos ensaios de Penetração.



Fluxograma 3.2 - Seqüência adotada para o ensaio de penetração realizado na pesquisa

Ensaio de viscosidade Saybolt Furol

Os ensaios de viscosidade foram realizados em três etapas:

- Primeira etapa

Nesta etapa foram realizados ensaios de Viscosidade Saybolt Furol apenas com o CAP 50/70.

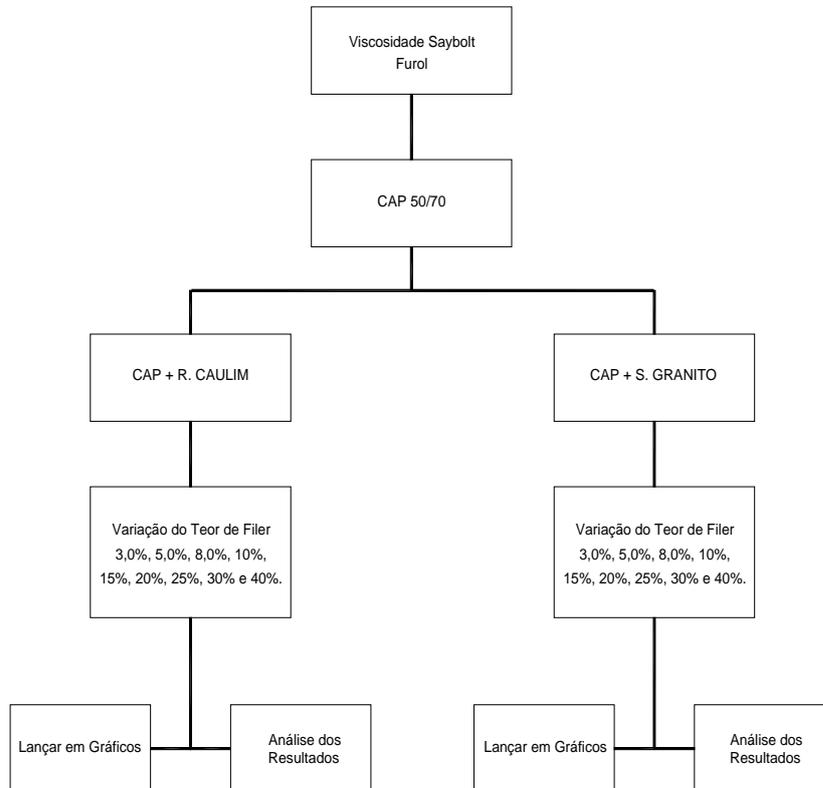
- Segunda etapa

Nesta etapa foram realizados ensaios de Viscosidade Saybolt Furol com o mastique (CAP+ Resíduo de Caulim) nas proporções de 3,0%, 5,0%, 8,0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40%, em relação ao volume de CAP. Procurou-se com isso, verificar o comportamento do mastique, em relação a viscosidade indireta medida pelo ensaio Saybolt Furol, com o incremento do filer.

- Terceira etapa

Nesta etapa foram realizados ensaios de Viscosidade Saybolt Furol com o mastique (CAP+ Serragem de Granito) nas proporções de 3,0%, 5,0%, 8,0%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 40%, em relação ao volume de CAP. Procurou-se com isso, verificar o comportamento do mastique, em relação a viscosidade indireta medida

pelo ensaio Saybolt Furol, com o incremento do filer. O **Fluxograma 3.3** apresenta a seqüência adotada para a realização dos ensaios de viscosidade saybol-furol.



Fluxograma 3.3 - Seqüência adotada para o ensaio de viscosidade Saybolt Furol

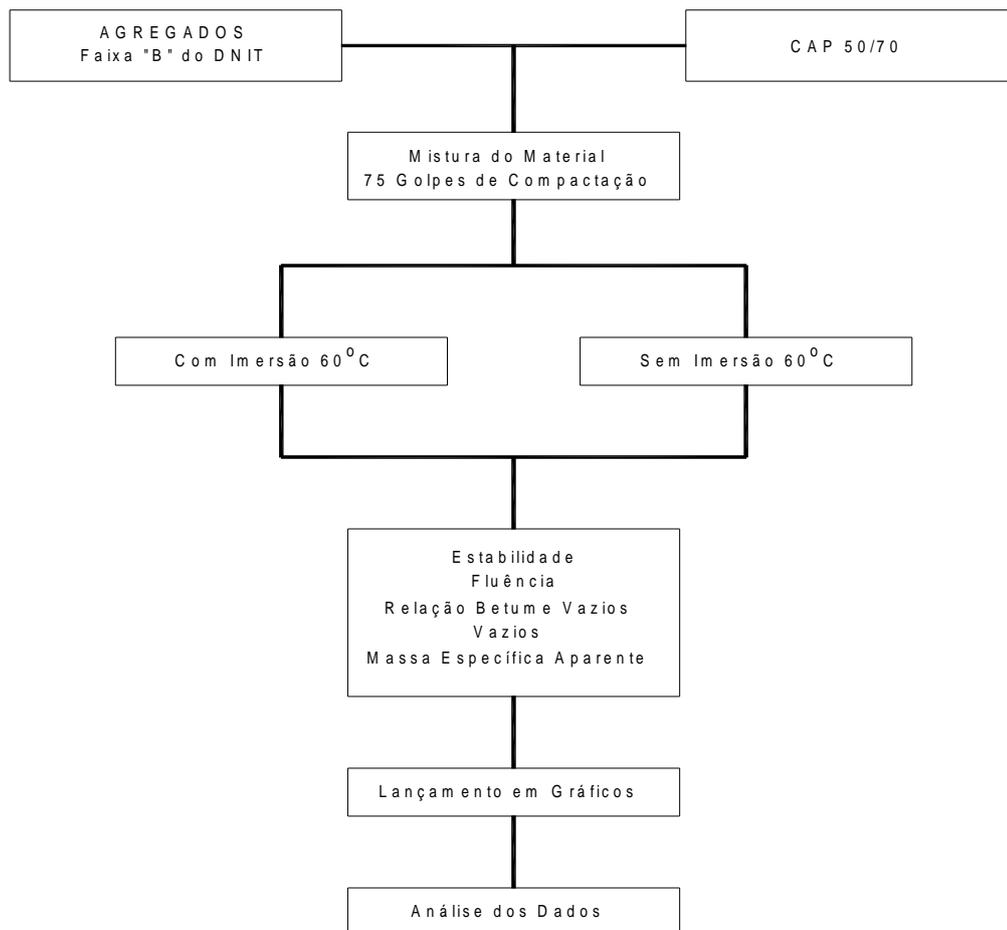
3.2.3 - Ensaio com as Misturas

Nesta etapa foram realizados os ensaios que forneceram subsídios para análise do comportamento dos fileres no Concreto Asfáltico. Para tanto, os agregados foram misturados e estabilizados mecanicamente para apresentar uma distribuição de tamanhos das partículas que se enquadrasse dentro dos limites pré-estabelecidos na faixa "B" do DNIT (DNIT ES 313 – 97). As proporções obtidas, para os materiais escolhidos constam no **Anexo B**.

Durante esta etapa foram realizados os seguintes ensaios: ensaio Marshall, ensaio de Tração Diametral, e o ensaio de Lottman. A seguir, serão descritos em detalhes esses ensaios.

Ensaio Marshall

O **Fluxograma 3.4** apresenta a seqüência de atividades adotada para a realização dos ensaios Marshall.



Fluxograma 3.4 - Seqüência adotada para o ensaio Marshall

O Ensaio Marshall (**Figura 3.11 e Figura 3.12**) foi realizado com teor de CAP de 4,5%, teor este obtido através de ensaio piloto utilizando-se: brita, areia, cal e o CAP. Com o intuito de observar o comportamento mecânico da mistura asfáltica, com o aumento da quantidade de fileres, foram realizados ensaios Marshall com incrementos de filer, em relação ao peso do corpo-de-prova, de 3%, 4%, 5%, 6% e 7%. A relação entre o teor de filer e o teor de asfalto foi fixada para o limite inferior de 0,6 (em peso) e para o limite superior $\gg 1,2$. Estes, por sua vez, preconizados pelo o programa SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements) e sugeridos por Roberts et al (1996).

Para realização dos ensaios Marshall foram moldados sessenta (60) corpos-de-prova para atender as seguintes etapas do experimento:

- Primeira etapa

Nesta etapa foram moldados 6 corpos-de-prova para cada porcentagem do filer de Caulim, todos compactados com 75 golpes, dos quais, foram rompidos três com imersão e três sem imersão;

Segunda etapa

Nesta etapa foram moldados 6 corpos-de-prova para cada porcentagem de filler de Serragem de Granito, todos compactados com 75 golpes, dos quais foram rompidos três com imersão e três sem imersão;

Os resultados do ensaio Marshall (NBR 12891 da ABNT) são influenciados por diversos fatores, os quais podem-se destacar: o emprego dos materiais usados para a realização do ensaio, a temperatura da mistura durante a compactação dos corpos-de-prova, a forma como são realizadas as compactações dos corpos-de-prova, as dimensões dos corpos-de-prova, as características dos equipamentos e as condições operacionais do ensaio.

De acordo com Coelho (1992) a variabilidade nos valores dos parâmetros físicos dos corpos-de-prova (massa específica, volume de vazios e relação betume vazios), inerente ao ensaio Marshall, é relativamente baixa nas misturas para concreto asfáltico. Enquanto que as dispersões dos parâmetros de resistência mecânica da mistura, medidos pela estabilidade e fluência o são mais significativos. O autor indica que os fatores que influenciam nos resultados do método Marshall são:

- tempo de mistura, dos diversos materiais envolvidos, insuficiente para obtenção de misturas realmente homogênea;
- compactação ineficiente e em desigualdade de condições;
- controle ineficiente de temperatura dos materiais envolvidos.

Diante dessas considerações, foram adotados procedimentos de controle para minimizar a variabilidade dos parâmetros obtidos com o auxílio do ensaio Marshall.

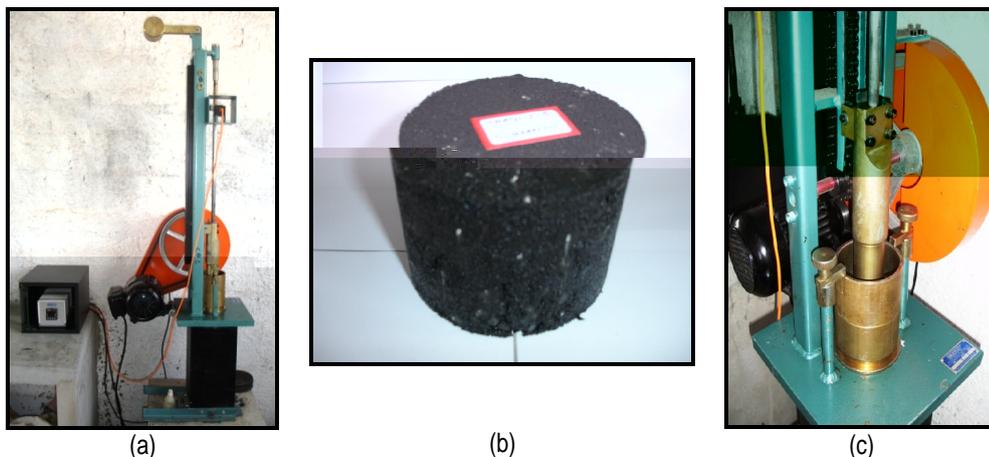


Figura 3.11 - Equipamentos utilizados para realização da compactação dos corpos-de-prova [(a) Compactador (b) Corpo-de-Prova (c) Soquete + Cilindro] [Fonte própria]

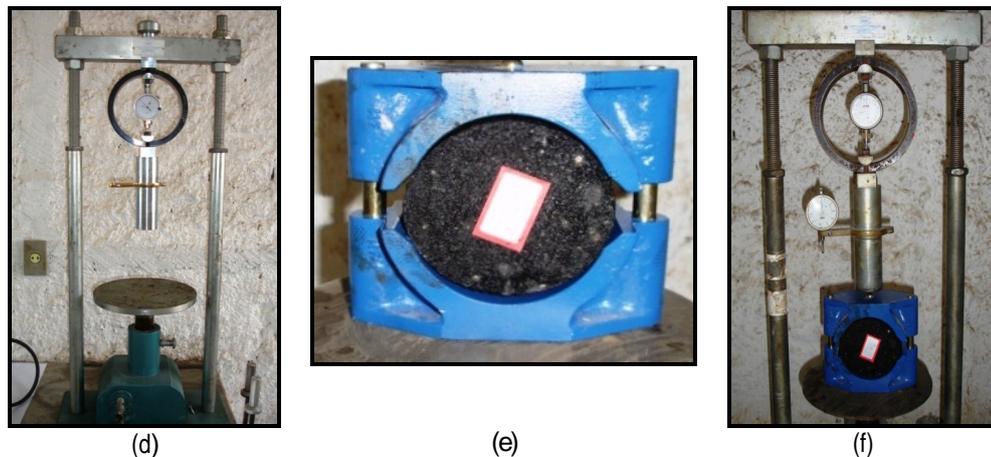


Figura 3.12 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio Marshall
[(d) Prensa (e) Molde (f) Prensa + Molde] [Fonte própria]

Ensaio de tração indireta

O ensaio de tração diametral (**Figura 3.13**) foi realizado com o Pórtico de Lottman de acordo com o que preconizam as normas DNIT-ME 138/94 e T 283-02 da American Association of State Highway Officials (AASHTO). Os corpos-de-prova foram preparados com o teor ótimo de CAP de 4,5%, com o índice de vazios de 3 a 5%, e com a variação do percentual dos fileres. O intuito deste procedimento foi verificar a influência do teor de filer no comportamento da mistura asfáltica em relação à adesividade e o efeito deletério da água.

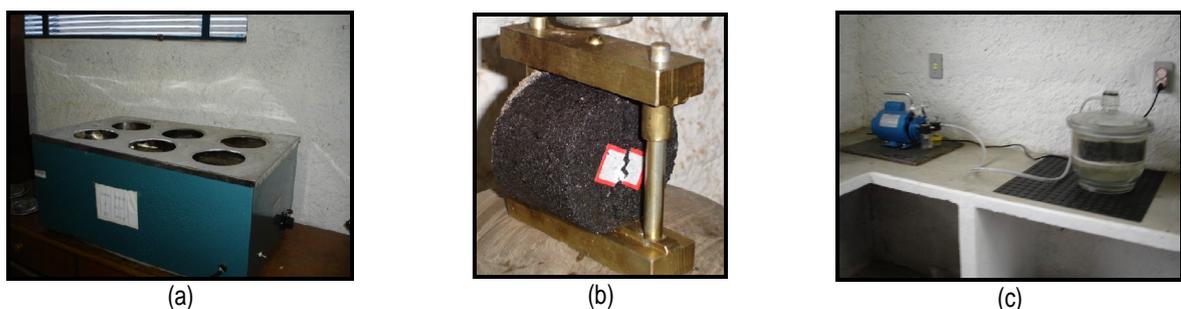


Figura 3.13 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de tração indireta
[(a) Banho Maria (b) Pórtico de Lottman (c) Bomba de vácuo] [Fonte própria]

Para realização do ensaio de tração indireta foram moldados 40 corpos-de-prova em duas etapas:

Primeira etapa

Nesta etapa foram moldados quatro (4) corpos-de-prova para cada percentual de filer Caulim, todos compactados com 75 golpes, dos quais foram rompidos dois com imersão a sessenta graus Celsius (60°C) e dois sem imersão (em estufa a 60°C).

Segunda etapa

Nesta etapa foram moldados quatro (4) corpos-de-prova para cada percentual de filer de Serragem de Granito, todos compactados com 75 golpes, dos quais foram rompidos dois com imersão a sessenta graus Celsius (60°C) e dois sem imersão (em estufa a 60°C).

Ensaio de tração indireta Lottman Modificado

Para realização deste ensaio foram moldados 36 corpos-de-prova com teores de filer de 5%, 6% e 7%, os quais apresentaram melhores resultados nos ensaios anteriores. Segue as etapas:

Primeira etapa

Nesta etapa os corpos-de-prova, sem condicionamento prévio, foram submetidos ao ensaio de resistência à tração com o auxílio do *pórtico de Lottman* para determinação do valor da resistência à tração por compressão diametral, RT_1 , após a imersão em água à 25°C, por duas horas, em sacos plásticos impermeáveis. Para isso, foram moldados três (3) corpos-de-prova com os teores de filer de 5%, 6% e 7%, tanto para o filer Caulim como para o filer Serragem de Granito, todos compactados com 75 golpes.

Segunda etapa

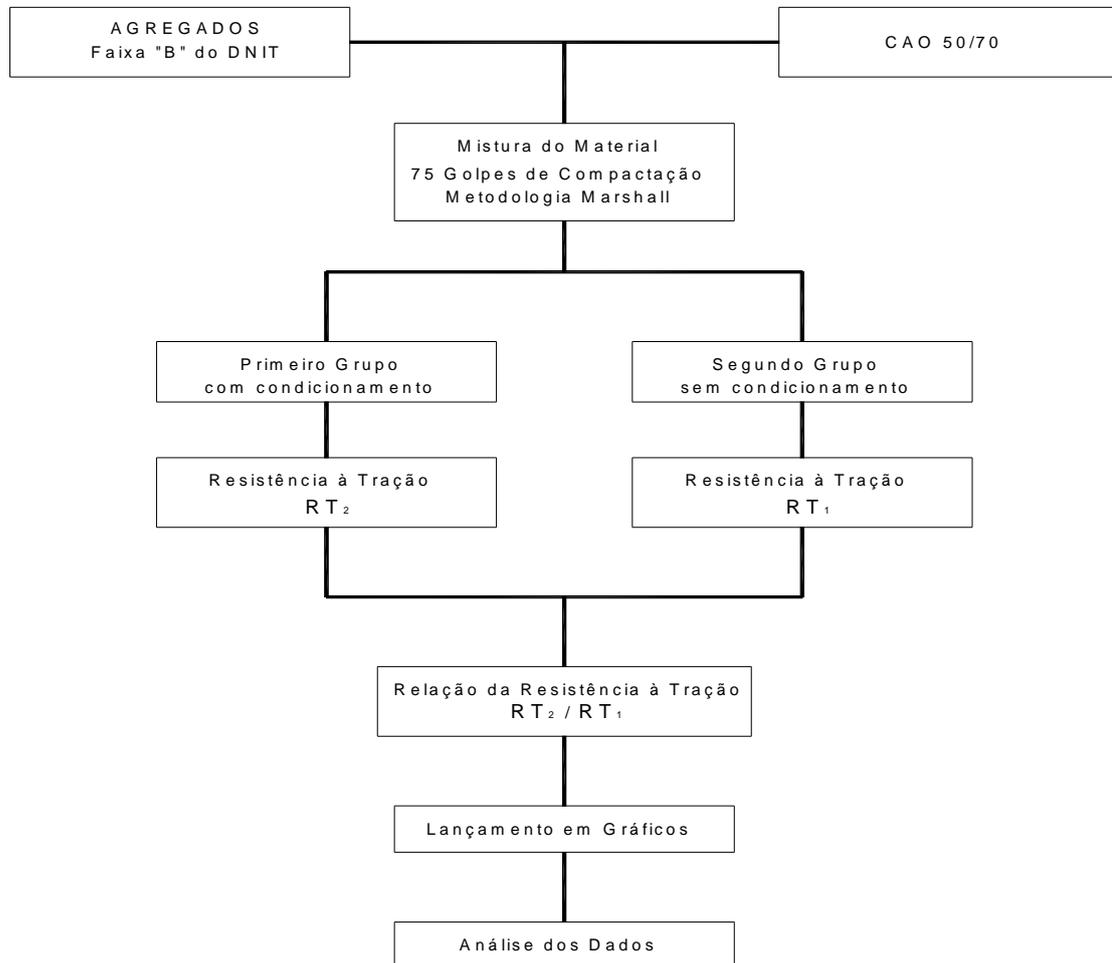
Nesta etapa os corpos-de-prova, com o condicionamento prévio, foram submetidos ao ensaio de Resistência à Tração por compressão diametral, com o auxílio do pórtico de *Lottman* para determinação do valor da Resistência à Tração, RT_2 . Para isso, foram moldados (três) 3 corpos-de-prova com os teores de filer de 5%, 6% e 7%, tanto para o filer Caulim como para o filer Serragem de Granito, todos compactados com 75 golpes.

O condicionamento prévio consistiu em:

- Saturação de 5 a 10 minutos com aplicação de pressão a vácuo em um dessecador;
- Refrigeração à temperatura de 12°C a 15°C (temperatura mínima de nossa região) por um período de 15 a 18 horas em sacos plásticos;
- Imersão em água à uma temperatura de 60°C por 24 horas;
- Imersão em água a uma temperatura de 25°C por duas horas.

Após determinar os valores de RT_1 e RT_2 foram determinados os valores da relação de resistência à tração, RRT que é calculada pela razão entre RT_2 e RT_1 . Por definição a RRT indica, em termos percentuais, o desempenho da mistura asfáltica com relação a adesividade e por consequência à susceptibilidade da mistura à presença de água. A metodologia SUPERPAVE recomenda valores acima da RRT de 80%.

O **Fluxograma 3.5** apresenta a seqüência de atividades adotada para a realização dos ensaios com auxílio do Pórtico de *Lottman*.



Fluxograma 3.5 - Seqüência para realização dos ensaios com o auxílio do pórtico de Lottman

Após a caracterização dos materiais da pesquisa e definindo-se os métodos de ensaios apropriados, tem-se agora a necessidade de análise dos resultados obtidos.

CAPÍTULO 4

4 - RESULTADOS

Nesta etapa são apresentados e analisados os resultados do experimento obtidos com a realização dos ensaios de caracterização dos materiais, ensaios com os mastique e ensaios com as misturas.

4.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 - Distribuição dos Tamanhos dos Grãos dos Fileres

As partículas que compõem a amostra do resíduo do Caulim apresentam diâmetros máximos das partículas iguais a 75 μm , visto que o mesmo, para ser utilizado como filer foi peneirado na peneira de Nº 200. Do mesmo modo, o material proveniente da Serragem de Granito foi passado na peneira de Nº 200 antes de ser utilizado como filer.

Nas **Tabela 4.1** e **Tabela 4.2** estão apresentados os resultados da distribuição do tamanho das partículas do resíduo do Caulim e Serragem de Granito, obtidos com a realização do ensaio por sedimentação com defloculante hexametáfosfato de sódio (**Anexo D**).

Tabela 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do Caulim - ensaio de sedimentação

Diâmetro Médio das Partículas (μm)	73	52	37	25	18	13
Porcentagem que passa (%)	89,70	84,17	84,17	84,17	84,17	78,63
Diâmetro Médio das Partículas (μm)	09	07	05	03	02	01
Porcentagem que passa (%)	73,10	62,02	50,95	34,33	25,47	12,18

Tabela 4.2 - Distribuição dos tamanhos das partículas da Serragem de Granito - ensaio de sedimentação

Diâmetro Médio das Partículas (μm)	67	48	34	23	20	10
Porcentagem que passa (%)	94,15	88,83	88,83	83,51	67,55	56,92
Diâmetro Médio das Partículas (μm)	09	06	05	03	02	01
Porcentagem que passa (%)	46,28	30,32	20,21	14,89	10,11	3,72

As distribuições dos tamanhos das partículas dos fileres de Caulim e de Serragem de Granito foram lançadas em um gráfico com os respectivos pontos. Observa-se que todos os materiais atenderam às especificações do DNIT quanto às exigências, de caráter físico, para ser filer.

Os resultados da distribuição dos tamanhos dos grãos destes materiais, obtidos com o auxílio do ensaio de sedimentação, são apresentados na **Figura 4.1**.

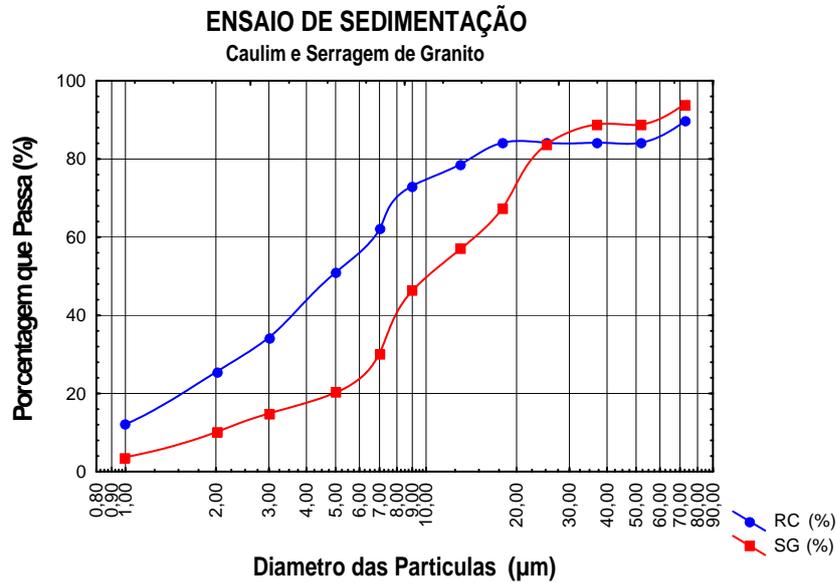


Figura 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos fileres obtida por Sedimentação

As caracterizações físicas do resíduo do Caulim e da Serragem de Granito, do material que passa na peneira Nº 100, realizada a partir da análise da distribuição dos tamanhos das partículas, obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser, encontram-se inseridas na **Figura 4.2** e na **Figura 4.3 (Anexo E)**.

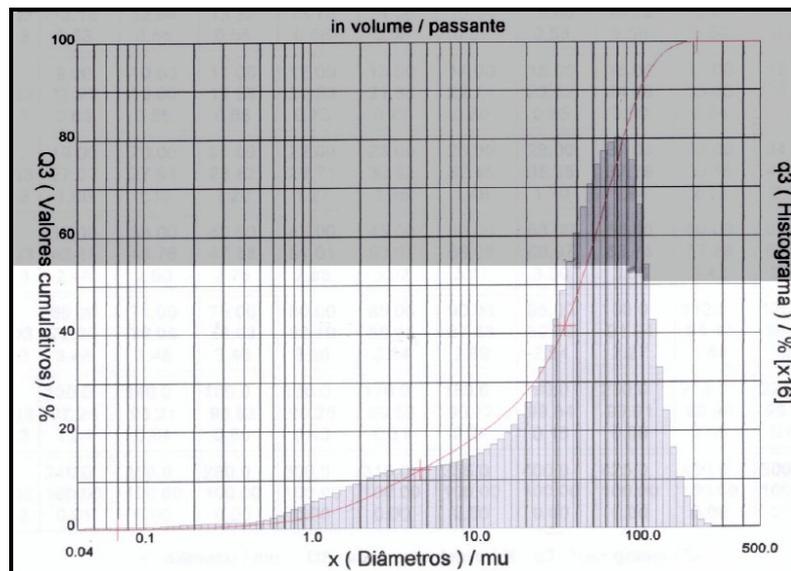


Figura 4.2- Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do Caulim obtida por difração a laser

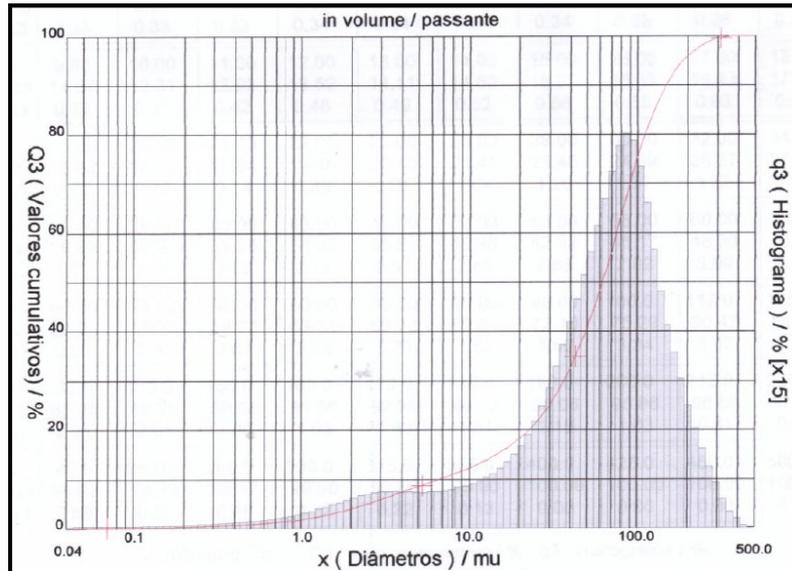


Figura 4.3 - Distribuição dos tamanhos das partículas da Serragem de Granito obtida por difração a laser

As distribuições dos tamanhos das partículas dos fileres de Caulim e de Serragem de Granito obtidas por difração a laser, o qual é um ensaio mais preciso, não corroboram para o que foi observado com os resultados obtidos com os ensaios convencionais. A discrepância desses valores pode ser explicada pelas limitações técnicas do ensaio de sedimentação e a atuação do defloculante sobre as partículas dos fileres.

Entretanto, em termos físicos, os fileres atendem as especificações do DNIT para o uso na pavimentação, sendo a distribuição dos tamanhos das partículas do Caulim mais fina, ou seja, 80% do filer Caulim têm diâmetro inferior a 75 μm , enquanto que para o filer Serragem de Granito esse percentual é de 65% (Figura 4.2 e Figura 4.3).

4.1.2 - Características Físicas do Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi do tipo granítico (DNIT – ME 081/94) apresentando um diâmetro máximo de 19,1 mm e massa específica aparente de 2,720 g/cm^3 . Outro fato observado foi que o agregado graúdo apresentou boa adesividade (Anexo G).

4.1.3 - Características Físicas dos Agregados Miúdos

Um dos agregados utilizados, foi do tipo areia quartzosa (DNIT – ME 084/94) apresentando diâmetro máximo de 4,75 mm e massa específica aparente de 2,618 g/cm^3 . Com o intuito de verificar-se o emprego do resíduo de Caulim por inteiro (fração fina e grossa) procurou-se utilizá-lo também como agregado miúdo. Para tal, verificou-se através do ensaio de equivalente areia (DNIT-ME 054/97) que o Caulim tem equivalente areia igual a 86% (Anexo G). Este, por sua vez, apresentou massa específica de 2,669 g/cm^3 .

4.1.4 - Massa Específica Real dos Fileres

Na **Tabela 4.3** e na **Tabela 4.4** - estão inseridos os resultados obtidos, para a amostra do resíduo do Caulim e de serragem do granito, do ensaio da massa específica real dos grãos. Os dados indicam para massa específica do filer de serragem do granito como tendo uma área específica menor.

Tabela 4.3 - Massa específica real do resíduo do Caulim

Resíduo do Caulim	Massa específica real (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)
	2,584	± 0,0005

Tabela 4.4 - Massa específica real da Serragem de Granito

Serragem de Granito	Massa específica real (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)
	2,668	± 0,0005

4.1.5 - Análise Termogravimétrica e Termodiferencial

A **Figura 4.4** apresenta as curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de Caulim. As curvas de ATD, contidas nesta, apresentam pico endotérmico de pequena intensidade a 100°C, o que caracteriza a Presença de água livre; pico endotérmico de grande intensidade a 600°C, correspondente à presença de hidroxila e a transformação de quartzo alfa e quartzo beta, e pico exotérmico de grande intensidade a 950°C, correspondente a nucleação de mulita.

As curvas de TG, contidas na **Figura 4.4**, apresentam perda de massa total de 9,12%, correspondente à perda da água livre e perda de hidroxilas.

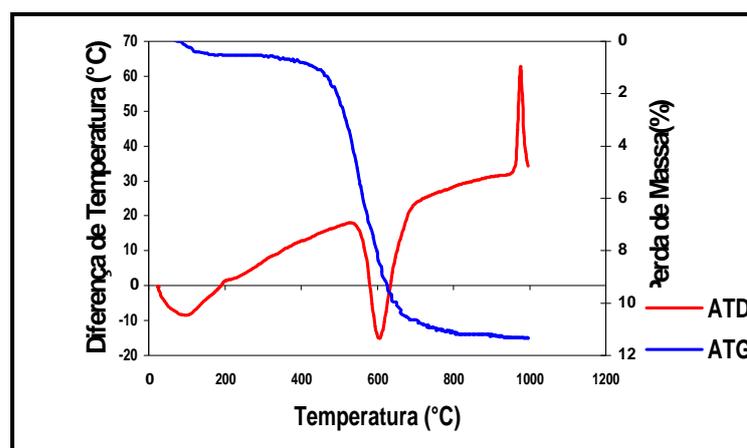


Figura 4.4 - Curva termodiferencial e termogravimétrica do resíduo do Caulim

A **Figura 4.5** e a **Figura 4.6** apresentam as curvas de análises termodiferencial e termogravimétrica da Serragem de Granito. Para Neves (2002) há um pico endotérmico de pequena intensidade à 110°C que indica

perda da água livre; pico endotérmico de pequena intensidade à 556°C, correspondente a transformação de quartzo alfa em quartzo beta; pico endotérmico correspondente a perda de hidroxilas da mica a 740°C; pico endotérmico de pequena intensidade correspondente a recristalização da mica à 780°C e pico endotérmico correspondente a pequena intensidade correspondente a decomposição de carbonato de sódio à 820°C.

Neves (2002) ao analisar as informações contidas acima, descreve que as curvas de TG contêm pequena perda de massa (0,03%) entre 60°C e 262°C, correspondente à perda da água livre e adsorvida; perda de massa (0,50%) entre 262°C e 516°C correspondente a perda de hidroxilas da mica; perda de massa (3,31%) entre 516 e 850°C correspondente à decomposição do carbonato de cálcio.

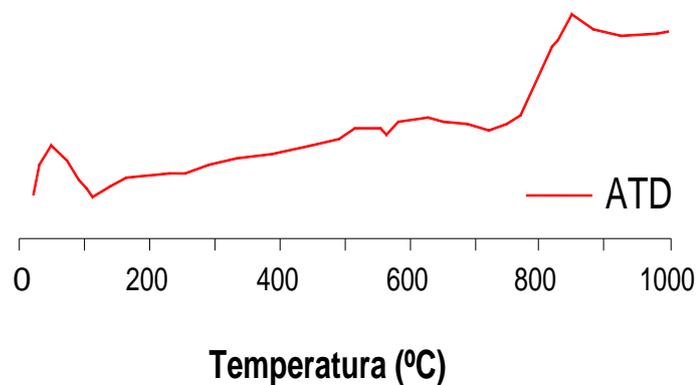


Figura 4.5 - Análise Termodiferencial do resíduo de Serragem de Granito [Neves, (2002)]

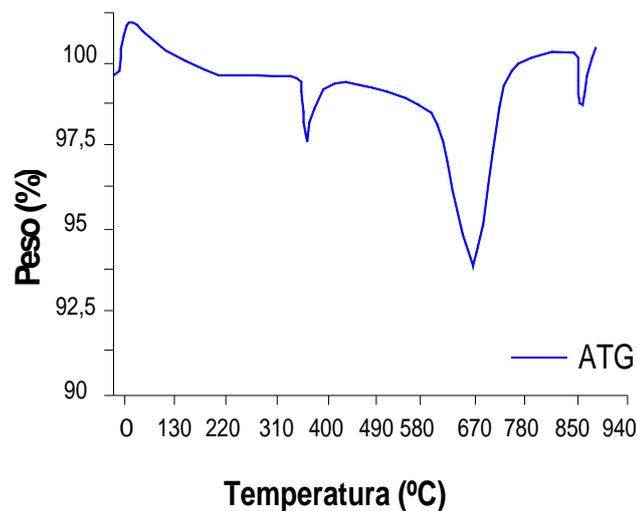


Figura 4.6 - Análise Termogravimétrica do resíduo de Serragem de Granito [Neves, (2002)]

4.1.6 - Difração de Raios-X

Os resultados obtidos com o ensaio de difração de raios-x, para o resíduo de Caulim estão apresentados na **Figura 4.7**. Eles apontam para a presença de caulinita, caracterizada pela pelas distancias interplanares de 7,07 e 3,56 Å, e de pequena quantidade de mica, caracterizada por 10,04 e 4,97 Å e quartzo (SiO₂) caracterizado pela distancia interplanares 3,34 Å.

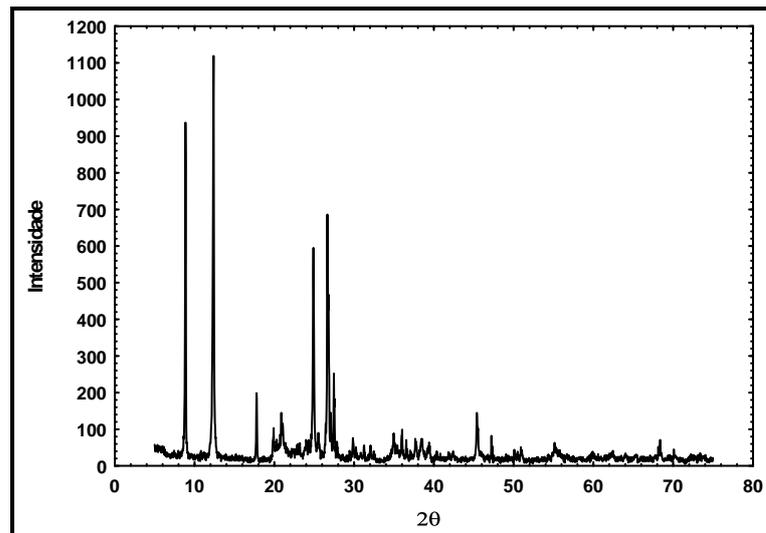


Figura 4.7 - Difração de raios-x do resíduo do Caulim

A **Figura 4.8** apresenta as difrações de raios-X da Serragem de Granito estudado. “Observando-se o diafragma observa-se nas fases do resíduo estudado quartzo (SiO₂), caracterizado pela distância interplanar de 3,34Å microlina (feldspato potássio – KAl Si₃O₈), caracterizado por 4,24 e 3,20Å albita (feldspato sódio- NaAlSi₃O₈), caracterizado por 4,03 e 3,19Å e em menor quantidade mica moscovita, caracterizado por 3,03 e 2,13Å. Comparando esse resultado com o diafragma do resíduo de granito do Espírito Santo determinado por SILVA (1998) verificou-se que o resultado é similar. Analisando o resultado da difração de raio-X do resíduo estudado, verificou-se que este apresenta uma mistura de quartzo, feldspato, mica e calcita (NEVES,2002).

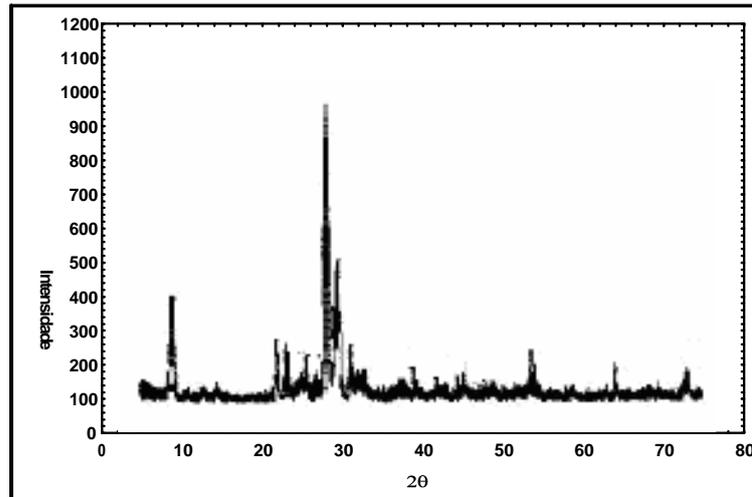


Figura 4.8 - Difração de raios-x do resíduo do Caulim

4.1.7 - Espectrofotometria por Absorção Atômica

Os resultados obtidos com os ensaios de espectrofotometria por absorção atômica realizados com os extratos lixiviados e solubilizados são apresentados no item subsequente. A partir dessas informações foram realizados os estudos comparativos com os valores dos limites dos constituintes químicos estabelecidos pela NBR 10004/2004 (Anexo F).

4.1.8 - Inertividade e Toxicidade dos Resíduos

Nas **Tabelas 4.5** e **Tabela 4.6** estão inseridos os valores dos constituintes químicos encontrados nos extratos lixiviado e solubilizado com o auxílio do ensaio de Espectrofotometria por Absorção Atômica.

Observa-se que, para as amostras de resíduos de caulim e Serragem de Granito, ensaiadas, todos os constituintes, com exceção do Cádmio (para o resíduo de caulim), apresentam concentrações inferiores aos limites do anexo F, estabelecidos pela NBR 10004/2004 para análise de extratos lixiviado (**Tabela 4.5**). Para os constituintes obtidos com o extrato solubilizado apresentados na **Tabela 4.6**, observou-se que todos apresentam concentrações inferiores aos limites do anexo G, estabelecido pela NBR 10004/2004, com exceção dos teores Cloreto (para o resíduo de caulim), Manganês, chumbo e cádmio (para ambos). Desta forma, pode-se inferir que, o resíduo de caulim, para o extrato lixiviado, pode ser classificado como do tipo “Classe I” (perigoso). No caso da Serragem de Granito, pode ser classificado como resíduo não tóxico e de “Classe II A” (Não Inerte).

Tabela 4.5 - Constituintes químicos encontrados nos extratos lixiviados dos resíduos de Caulim e de Serragem de Granito

Identificação da Amostra	Pb	Cd	Cr
	mg/L		
Resíduo do Caulim	0,697	0,589	<LD ³
Serragem de Granito	0,684	0,242	<LD ³
Limite Norma	1,000	0,500	5,000

<LD³: Abaixo do limite de detecção do aparelho – 0,02mg/l.

Tabela 4.6 - Constituinte químicos encontrados nos extratos solubilizados dos resíduos de Caulim e de Serragem de Granito

Identificação da Amostra	Cl	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	Pb	Cd	Cr	SO ₄
	mg/L									
Resíduo do Caulim	3.493,00	12,80	<LD ¹	0,005	0,255	0,027	0,351	0,591	<LD ³	11,57
Serragem de Granito	129,50	63,11	<LD ¹	0,038	0,170	0,012	0,472	0,191	<LD ³	108,54
Limite Norma	250,00	200,00	2,00	0,300	0,100	5,000	0,010	0,005	0,050	250,00

<LD¹: Abaixo do limite de detecção do aparelho – 0,01mg/l.

<LD³: Abaixo do limite de detecção do aparelho – 0,02mg/l.

4.1.9 - Análise Química

Para uma melhor caracterização do resíduo do Caulim, foi realizada análise química (AQ) convencional. A **Tabela 4.7** apresenta a composição química do resíduo em seu estado natural. A composição química do resíduo utilizado classifica-se como sendo um silicato-aluminato com um elevado teor de sílica, SiO₂, e de Al₂O₃.

Tabela 4.7 - Composição química do resíduo do Caulim no estado natural

Amostra	PR(%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	RI(%)	K ₂ O(%)
Resíduo do Caulim	10,25	50,56	0,40	36,40	traços	traços	0,37	0,80	1,10

A **Tabela 4.8** apresenta a composição química da Serragem de Granito em seu estado natural. Observando os valores, contidos na **Tabela 4.8**, pode-se inferir que o resíduo classifica-se como sendo um silicato-aluminoso com um elevado teor de sílica, = 55% e teor de Al₂O₃ e Fe₂O₃ em torno de 12 e 6% respectivamente. Na **Tabela 4.9** está contida a composição química que, após o tratamento de “desferrização” verificou-se uma redução nos teores de Fe₂O₃.

Tabela 4.8 - Composição química da Serragem de Granito no estado natural

Amostra	PF (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
Resíduo	4,44	59,61	5,98	11,77	4,48	traços	2,70	3,63

Tabela 4.9 - Composição química da Serragem de Granito após o tratamento de desferrização

Amostra	PF (%)	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)
Resíduo	5,18	64,57	1,84	19,09	2,80	traços	2,00	3,00

4.1.10 - Ensaio de Caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O CAP empregado na mistura foi do tipo 50/70. A densidade foi 1,027g/cm³. A caracterização do mesmo foi fornecida pela LUBNOR (Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste) (**Tabela 4.10**).

Tabela 4.10 - Caracterização do CAP utilizado na pesquisa

Ensaio	Método	Especificação	Resultado	Unidade
Penetração	D5	50 a 70	63	0,1 mm
Ponto de amolecimento	D36	46 (mínimo)	48,2	°C
Viscosidade Saybolt Furol a 135°C	E102	141 (mínimo)	220	s
Viscosidade Brookfield 135°C-SP21 20RPM	D4402	274(mínimo)	437	cp
Viscosidade Brookfield 150°C-SP21	D4402	12(mínimo)	219	cp
Viscosidade Brookfield 177°C-SP21	D4402	57 a 285	79	cp
Ductibilidade a 25°C	D113	60(mínimo)	>150	cm
Solubilidade no Tricloroetileno	D2042	99,5(mínimo)	99,9	%massa
Ponto de fulgor	D92	235(mínimo)	298	°C
Índice de Susceptibilidade Térmica	X018	-1,5 a 0,7	-1,2	
Aquecimento a 177°C	X215	Não espuma	Não espuma	

Fonte: LUBNOR (2006).

4.2 - ENSAIOS COM O CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO E FILERES

Para o estudo do comportamento mecânico da mistura asfáltica e da interação do filer/CAP, com os incrementos dos fileres ao CAP, foram realizados os ensaios de viscosidade Saybolt Furol e de penetração com o mastique. Os resultados e as suas respectivas análises são descritos a seguir.

4.2.1 - Ensaio de Penetração

Os resultados obtidos com a realização do ensaio de penetração estão apresentados na **Tabela 4.11**. Estes, por sua vez, foram lançados em gráfico, onde são apresentadas as variações do valor da penetração em função da variação dos incrementos de fileres em relação ao CAP de acordo com o volume da amostra utilizada na execução do ensaio (DNIT – ME 003/99).

O procedimento adotado permitiu a análise comparativa do comportamento do mastique com os incrementos dos teores de fileres (**Figura 4.9**). Os valores da penetração apresentaram tendências decrescentes segundo um modelo polinomial quadrático. Essas tendências indicam que o acréscimo da quantidade de filer ao CAP provoca uma diminuição no valor da penetração, ou seja, o acréscimo dos fileres provoca um aumento na viscosidade do mastique.

Tabela 4.11 - Resultados obtidos para a penetração nas misturas CAP + filer

Relação em Volume Filer/CAP	Penetração (100gr, 5seg, 0,1"mm - CAP 50/70)		
	CAP + Resíduo do Caulim	CAP + Resíduo do Granito	CAP + Cal
0	63	63	63
0,03	49	60	-
0,05	43	58	-
0,08	39	55	-
0,10	36	50	43
0,15	33	44	-
0,20	29	42	38
0,25	27	37	-
0,30	25	33	22
0,40	25	30	24
0,50	22	24	21

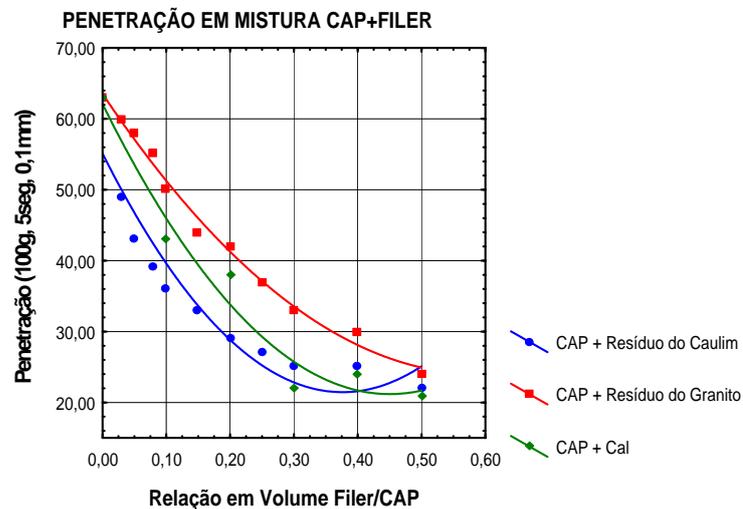


Figura 4.9 - Valor da penetração em função da variação dos incrementos de percentuais dos fileres

4.2.2 - Ensaio de Viscosidade Saybolt Furol

Os resultados dos ensaios de Viscosidade Saybolt Furol estão inseridos na **Tabela 4.12**. Os resultados alcançados indicam que o comportamento do resíduo do Caulim apresenta comportamento semelhante aos dos fileres convencionais (**Figura 4.10**).

Os resultados alcançados na realização do ensaio de viscosidade Saybolt Furol para a mistura entre o CAP e os fileres foram lançados em gráfico, apresentando as variações do valor obtido para a viscosidade Saybolt Furol.

As variações do valor da viscosidade Saybolt Furol para as misturas do CAP com os fileres apontam, de maneira análoga aos resultados obtidos com o ensaio de penetração, para um aumento da viscosidade do mastique com o incremento dos fileres (**Figura 4.10**). Os valores da viscosidade Saybolt Furol apresentaram tendências crescentes segundo um modelo polinomial quadrático.

Tabela 4.12 - Resultados obtidos para a viscosidade Saybolt Furol

Viscosidade Saybolt Furol (135°C), tempo em (s).			
Relação em Volume Filer/CAP	CAP + Resíduo do Caulim	CAP + Resíduo do Granito	CAP + Cal
0,00	218	218	218
0,03	211	212	272
0,05	237	254	355
0,08	263	282	469
0,10	278	365	540
0,15	320	437	552
0,20	359	492	617
0,25	441	542	870
0,30	536	718	1138
0,40	631	900	-

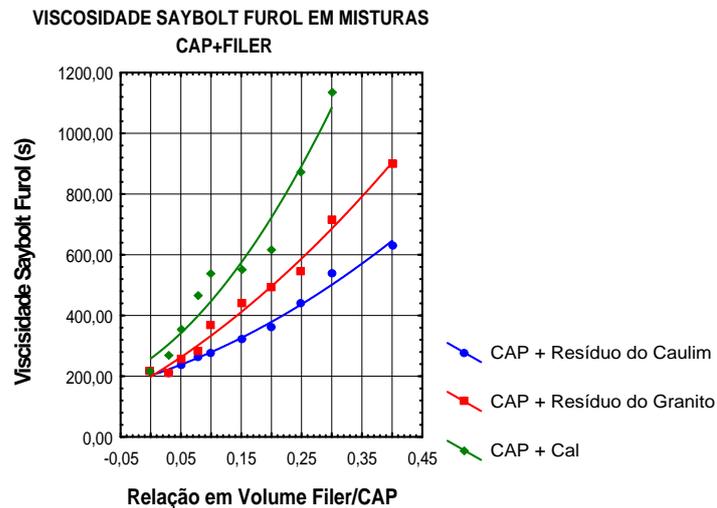


Figura 4.10 - Viscosidade Saybolt Furol em função da variação dos incrementos dos fileres

4.3 - ENSAIOS COM MISTURAS DE AGREGADOS GRAÚDO E MIÚDO, FILERES E CAP

4.3.1 - Distribuição dos Tamanhos das Partículas dos Agregados e dos Fileres

Após caracterização física individual dos materiais foi realizada a mistura observando os limites pré-estabelecidos no domínio da faixa "B" do DNIT. Para tal, foi realizada a estabilização mecânica com a mistura dos materiais. As composições finais das misturas com o filer Caulim e de Serragem de Granito estão inseridas no **Quadro 4.1** e no **Quadro 4.2**, respectivamente.

Quadro 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas na elaboração do traço - CAULIM

PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO								
	BRITA		AREIA		FILER		COMBIN. RESULT.	Faixa "B" DNIT	
	TOTAL	50%	TOTAL	45,0%	TOTAL	5%		PT. MED.	LIMITES
11/2"	100,00	50,00	100,00	45,00	100,00	5,00	100,00	100	100
1"	100,00	50,00	100,00	45,00	100,00	5,00	100,00	97,5	95-100
3/4"	95,45	47,73	100,00	45,00	100,00	5,00	97,73	90	80-100
3/8"	11,41	5,71	98,51	44,33	100,00	5,00	55,03	62,5	45-80
Nº 4	0,123	0,06	94,23	42,40	100,00	5,00	47,46	44	28-60
Nº 10	0,06	0,03	76,11	34,25	100,00	5,00	39,28	32,5	20-45
Nº 40	0,00	0,00	20,23	9,15	100,00	5,00	14,15	21	10-32
Nº 80	0,00	0,00	4,46	2,01	100,00	5,00	7,01	14	8-20
Nº 200	0,00	0,00	0,35	0,16	100,00	5,00	5,16	5,5	3-8

Quadro 4.2 - Distribuição dos tamanhos das partículas na elaboração do traço – Serragem de Granito

PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO								
	BRITA		AREIA		FILER		COMBIN. RESULT.	Faixa "B" DNIT	
	TOTAL	50%	TOTAL	47,0%	TOTAL	3%		PT. MED.	LIMITES
11/2"	100,00	50,00	100,00	47,00	100,00	3,00	100,00	100	100
1"	100,00	50,00	100,00	47,00	100,00	3,00	100,00	97,5	95-100
3/4"	95,45	47,73	99,43	46,73	100,00	3,00	97,46	90	80-100
3/8"	11,41	5,71	96,06	45,15	100,00	3,00	53,85	62,5	45-80
Nº 4	0,12	0,06	92,54	43,49	100,00	3,00	46,55	44	28-60
Nº 10	0,06	0,03	81,33	38,23	100,00	3,00	41,26	32,5	20-45
Nº 40	0,00	0,00	24,14	11,35	100,00	3,00	14,35	21	10-32
Nº 80	0,00	0,00	8,20	3,85	100,00	3,00	6,85	14	8-20
Nº 200	0,00	0,00	0,4%	0,20	100,00	3,00	3,2%	5,5	3-8

4.3.2 - Dosagem do CAP

A dosagem do CAP foi realizada objetivando estabelecer o teor de asfalto ideal a ser utilizado para a moldagem dos corpos-de-prova durante a fase experimental. Sua estimativa foi obtida através de um projeto piloto a partir da análise dos parâmetros do ensaio Marshall. O valor estimado para o teor ótimo de CAP foi de 4,5%. Os resultados deste experimento encontram-se inseridos no **Anexo A**.

4.3.3 - Ensaio Marshall

Nesta fase foram moldados os corpos-de-prova, seguindo-se a dosagem Marshall com as seguintes composições: agregados graúdos e miúdos (faixa "B"), 4,5% de CAP, e incrementos com variação de 3%, 4%, 5%, 6% e 7% dos fileres Caulim e de Serragem de Granito. Importante frisar que o resíduo de Caulim foi utilizado, também, como agregado miúdo (**Anexo B**).

Estabilidade

Na **Figura 4.11**, na **Figura 4.12**, na **Figura 4.13** e na **Figura 4.14** estão inseridos os resultados obtidos para a estabilidade Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados com os fileres Caulim e de Serragem de Granito. As respectivas curvas apresentam, também, os valores da estabilidade Marshall em função dos incrementos dos fileres obtidos para os corpos-de-prova submetidos à imersão em água e sem imersão.

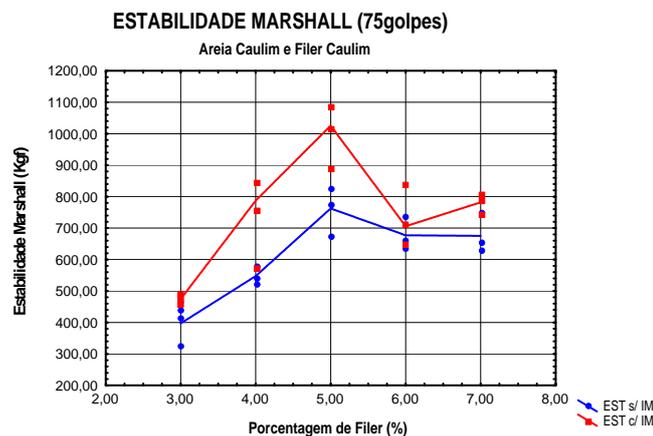


Figura 4.11 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com "Areia Caulim" e Filer Caulim [com e sem imersão em água (3CP)]

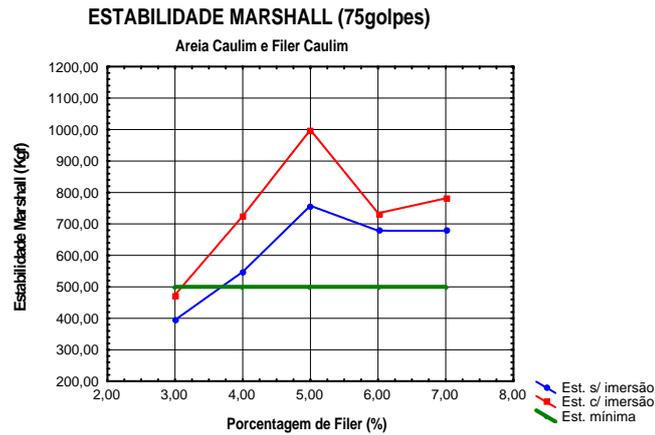


Figura 4.12 - Média dos valores de Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com “Areia Caulim” e Filer Caulim [com e sem imersão em água]

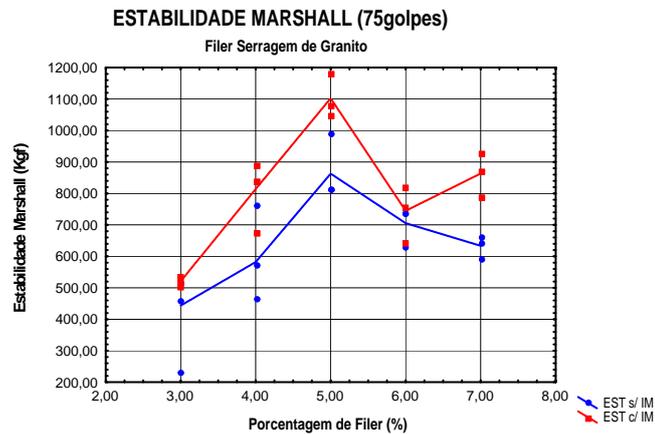


Figura 4.13 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com Filer Serragem de Granito [com e sem imersão / 3CP]

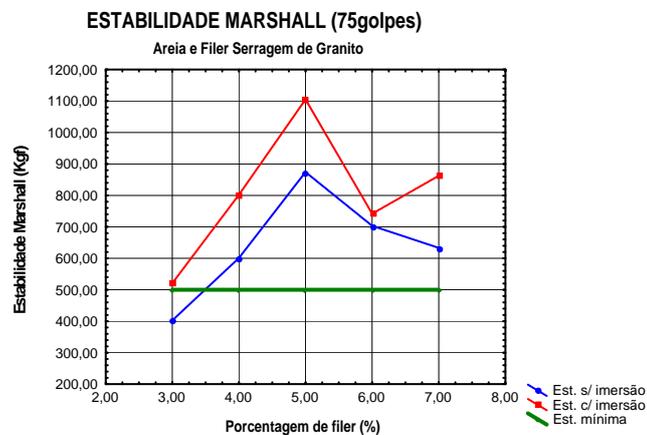


Figura 4.14 - Média dos valores de Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com Filer Serragem de Granito [com e sem imersão]

Na **Figura 4.15** estão inseridas todas as curvas de estabilidade em função dos percentuais de fileres, resíduo de Caulim e Serragem de Granito. Os valores de estabilidade apresentaram para ambos os fileres, tendências crescentes até o percentual de 5% de filer, após este valor houve queda na estabilidade.

De acordo com RUIZ (1959) apud Souza (2001) "... num sistema filer-asfalto, ao aumentarmos a quantidade de filer, as partículas tendem a aproximar-se, diminuindo os poros, tendendo a formar uma estrutura que vai tornar o mastique rígido, tornando-o frágil e quebradiço (concentração crítica)".

O incremento do filer Serragem de Granito, segundo os resultados obtidos, teve como consequência um aumento considerável da estabilidade, quando comparado com os mesmos percentuais do filer resíduo do Caulim.

A estabilidade mínima exigida, segundo o DNIT é de 500 kgf para 75 golpes, a qual foi alcançada para todos os corpos-de-prova moldados de ambos os fileres com o teor maior que 3%.

Foi observado nos ensaios um leve aumento nas dimensões dos corpos-de-prova confeccionados com o resíduo de Caulim. Este fato deve-se às propriedades do material, que por ser expansivo proporcionou essa característica. O Caulim é um material proveniente do grupo das caulinitas, detentores de partículas achatadas, entre suas partículas podem-se ver nitidamente "mica".

ESTABILIDADE MARSHALL (75golpes)

Areia Caulim e Filer Caulim

Areia e Filer Serragem de Granito-0260 0 c 1 03s 03 94.z (s n 6540nito)Tc /Ff 01RG 21 n 6540nito-0260 0 c 1 03s 03

Fluência

Na **Figura 4.16** e na **Figura 4.17** estão inseridos os resultados obtidos para a fluência, relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados com os fileres do resíduo do Caulim e da Serragem de Granito, respectivamente.

As curvas contidas na **Figura 4.16** e na **Figura 4.17** ilustram, também, os resultados da fluência alcançada para corpos-de-prova submetidos à imersão e sem imersão. Na **Figura 4.18** estão inseridas todas as curvas de fluência em função dos percentuais de fileres, resíduo de Caulim e Serragem de Granito.

Os resultados obtidos indicam para um aumento da fluência Marshall dos corpos-de-prova submetidos à imersão. Para o resíduo de Caulim, percebe-se uma suave diminuição da fluência, tendendo a ficar estável com um percentual de filer de 7%. No caso da Serragem de Granito, houve um acréscimo na fluência, que também tendeu a ficar estável com um percentual de 7%.

FLUÊNCIA MARSHALL (75golpes) Areia Caulim e Filer Caulim Com e Sem Imersão



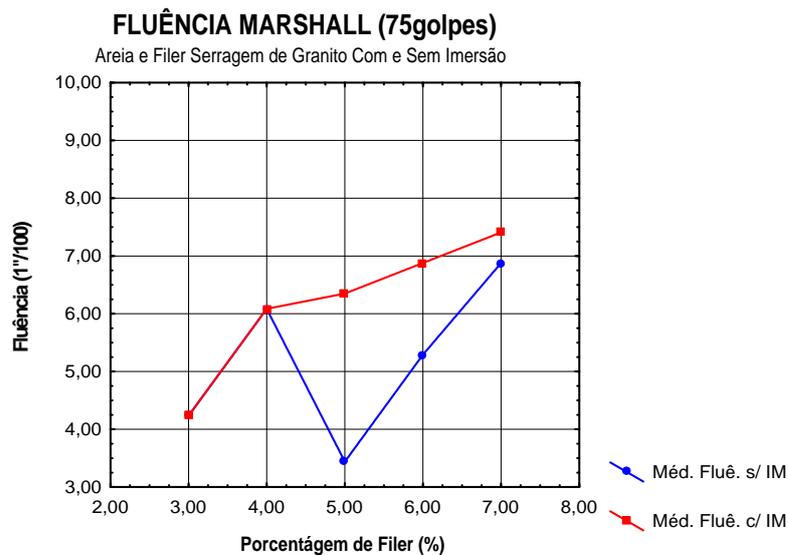


Figura 4.17 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com filer Serragem de Granito [com e sem imersão em água (3CP)]

Na Figura 4.18 percebe-se claramente que há uma tendência de ambas as misturas apresentarem um comportamento, em termos de fluência, semelhante quando imersos.

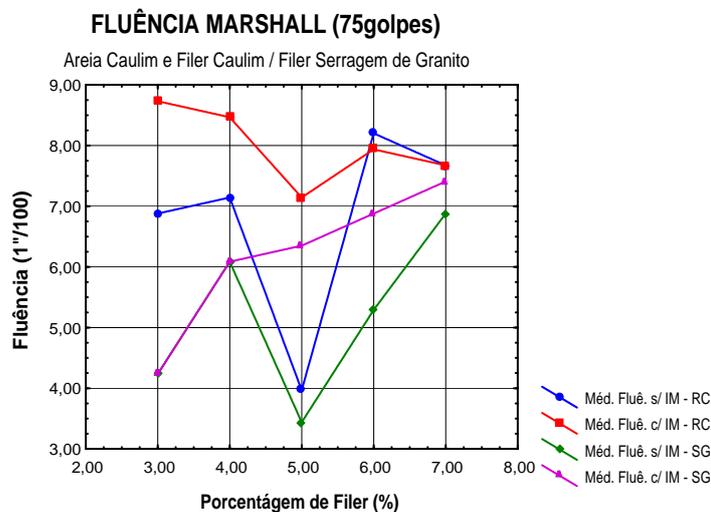


Figura 4.18 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com os resíduos de Caulim e Serragem de Granito [com e sem imersão em água (3CP)]

4.3.4 - Ensaio de Tração Diametral Indireta

Nesta fase foram moldados os corpos-de-prova, seguindo-se a metodologia Marshall com as seguintes composições: agregados graúdos e miúdos (faixa "B"), 4,5% de CAP, e incrementos com variação de 3%, 4%, 5%, 6% e 7% dos fileres Caulim e de Serragem de Granito.

Na **Figura 4.19**, na **Figura 4.20** e na **Figura 4.21** estão lançados em gráfico os resultados obtidos no ensaio de resistência a tração diametral indireta com os corpos-de-prova moldados com os fileres Caulim e de Serragem de Granito.

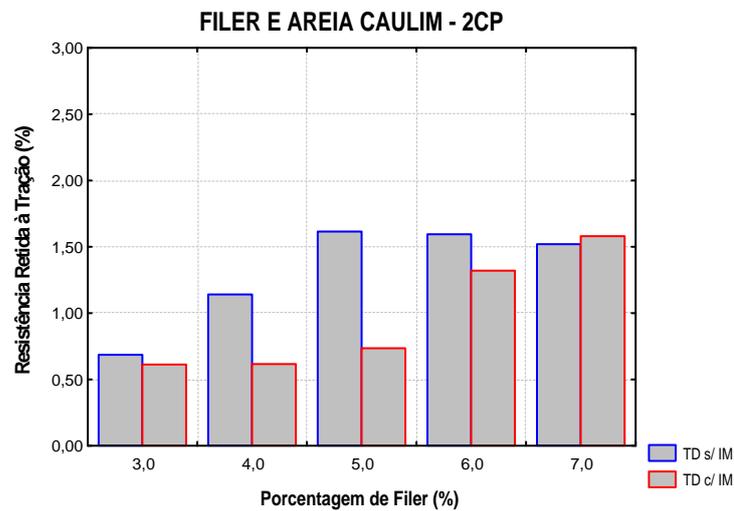


Figura 4.19 – Resistência à tração diametral indireta para o filer Caulim - 2CP

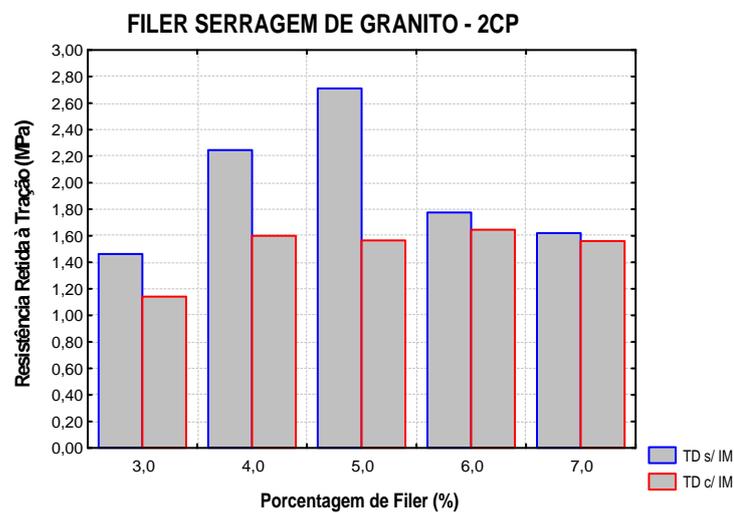
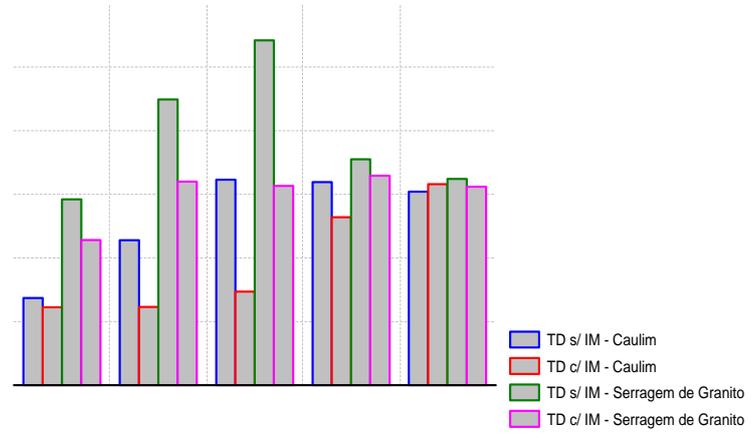


Figura 4.20 – Resistência à tração diametral indireta para o filer Serragem de Granito - 2CP

FILER CAULIM E SERRAGEM DE GRANITO - 2CP

Os incrementos observados para a RRT, para os corpos-de-prova onde foi utilizado o filer Caulim, foram, relativamente, maiores quando comparados aos obtidos com corpos-de-prova moldados com o filer Serragem de Granito.

Para os corpos-de-prova moldados com o filer Caulim os valores da RRT variaram entre 85% e 87%, evidenciando um caráter positivo com relação à resistência a susceptibilidade à presença de água. Entretanto para os corpos-de-prova moldados com o filer Serragem de Granito valores da RRT variaram entre 82 e 59 %, o que evidenciou o caráter negativo para a adesividade do mastiche aos agregados.

Ao considerar o teor de 5% de filer para ambas as misturas observa-se que este teor atende a todas as especificações contidas nas normas do DNIT e do SUPERPAVE, considerando os parâmetros: da Estabilidade; da Tração Diametral Indireta; e da Relação da Resistência à Tração (RRT) (**Quadro 4.3**).

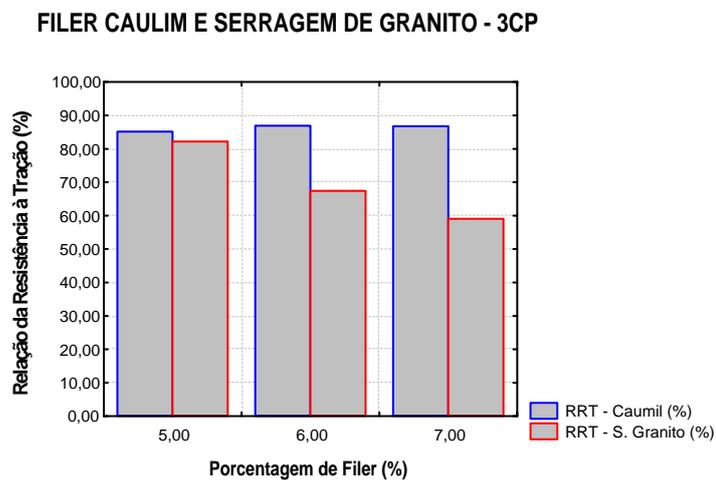


Figura 4.22 – Relação da resistência retida à tração para os fileres Caulim e Serragem de Granito – 3CP

Quadro 4.3 – Parâmetros para as misturas com o teor de 5% de filer

Materiais	Estabilidade Marshall (kgf)	Tração Diametral Indireta (MPa)	Relação da Resistência à Tração – RRT (%)
Resíduo de Caulim	767,72 – 998,74* [> 500 kgf]	1,07 – 0,74* [> 0,65 MPa]	85 [> 70%]
Serragem de Granito	873,98 – 1104,78* [> 500 kgf]	1,78 – 1,37* [> 0,65 MPa]	82 [> 70%]

* Corpos-de-prova submersos em água à 60°C.

CAPÍTULO 5

5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE PESQUISAS POSTERIORES

5.1 - CONCLUSÕES

5.1.1 - Considerações Iniciais

Inicialmente, tinha-se como objetivo verificar qual dos fileres, resíduo de Caulim ou Serragem de granito, proporcionaria as misturas asfálticas uma menor susceptibilidade à presença d'água. No decorrer da pesquisa observou-se que no caso do resíduo de Caulim, o mesmo poderia ser usado como agregado miúdo, fato este verificado após ensaio de equivalente areia. Deste ponto em diante, a comparação entre os dois materiais passou a ser não mais em relação aos fileres e sim em termos de filer e agregado miúdo. Diante do exposto, buscou-se, embasamento teórico e principalmente interpretar os resultados obtidos.

5.1.2 - Conclusões Quanto aos Ensaio de Caracterização

- tanto o resíduo do Caulim quanto a Serragem de granito apresentaram características físicas de filer ao atender às especificações propostas pelo DNIT;

- em se tratando de agregado miúdo, no caso do resíduo de Caulim, observou-se que inicialmente para teores de fileres baixo, o corpo-de-prova após a moldagem tinha uma altura maior, conseqüentemente um volume maior, quando comparados aos corpos-de-prova com filer de Serragem de Granito. Na medida em que se aumentava o percentual de filer, esta diferença diminuía. Este comportamento do resíduo de Caulim já era esperado, visto que em sua composição, o Caulim possui "mica", e como um todo é um material expansivo;

- a distribuição dos tamanhos das partículas realizados por ensaio de sedimentação para o resíduo do Caulim e para a Serragem de granito, e a obtida por difração a laser apresentaram leve diferenças entre si. Este fato foi atribuído às próprias características dos materiais. Com isso deve-se tomar como o melhor o ensaio de difração a laser que tem maior precisão;

5.1.3 - Conclusões Quanto aos Ensaio com o Mastique

- os valores de penetração das misturas ensaiadas (mastique) apresentaram tendências decrescentes. Essas tendências indicam que o acréscimo da quantidade de filer ao CAP provoca um aumento na rigidez do mastique;

- os resultados obtidos com o ensaio de viscosidade Saybolt Furol das misturas ensaiadas (mastique), foram observadas tendências crescentes. Isto indica que o incremento de filer proporciona um aumento nas propriedades de viscosidade do CAP;

5.1.4 - Conclusões Quanto aos Resultados dos Ensaio Marshall

- no caso da estabilidade houve para ambos os materiais uma tendência crescente com o incremento dos filers. Este comportamento se deu até um percentual de 5%, e decresceu para os percentuais de 6% e 7%, porém se mantendo com valores de estabilidade superiores aos estabelecidos pelo DNIT (500 kgf);

- pelo método de ensaio do DNIT-ME 043/95, para 75 golpes, a estabilidade mínima exigida é de 500 Kgf, tanto para camadas de rolamento como para camadas de ligação ("Binder"). Os resultados obtidos, com a dosagem Marshall com os fileres resíduo do Caulim e Serragem de Granito, superaram esse valor mesmo submetido à imersão em água, com exceção dos corpos-de-prova moldados com percentual de 3%;

- os maiores incrementos nos parâmetros de estabilidade ocorreram quando os corpos-de-prova foram submetidos à imersão em banho Maria, fato esperado, pois, a presença da água acarreta em aumento de rigidez, efeito esse prejudicial para as misturas asfálticas tornando-as quebradiças;

- para o incremento de filer Serragem de Granito com os corpos-de-prova submetidos à imersão e sem imersão, a estabilidade Marshall apresentou um aumento considerável quando comparado com os mesmos percentuais do filer resíduo do Caulim.

5.1.5 - Conclusões Quanto aos Resultados dos Ensaio de Tração Diametral

- com o auxílio do pórtilo de Lottman foram obtidos resultados da Relação da Resistência à Tração (RRT) acima do valor mínimo de 70%, segundo o método AASHTO T 283/02, somente para o percentual de filer de 5%, para ambos os materiais. À medida que se aumentou o percentual de filer, apenas os corpos-de-prova com resíduo de Caulim permaneceram acima do valor mínimo, enquanto que para a Serragem de granito houve queda considerável.

5.1.6 - Conclusões quanto aos Resultados dos Ensaios de Espectrofotometria por Absorção Atômica

- ambos os materiais são considerados, não-inertes e no caso do resíduo de Caulim, o mesmo foi considerado como tóxico. Esta classificação foi dada segundo os parâmetros de toxicidade e inerticidade. O Caulim foi denominado como Resíduo Classe I (tóxico), enquanto que a Serragem de granito, Classe IIA (não tóxico e não inerte);

5.1.7 - Considerações Gerais

- em termos de susceptibilidade das misturas asfálticas à presença d'água, constatou-se que o resíduo de Caulim proporcionou um comportamento mais estável que a Serragem de granito. Observando os resultados do ensaio Marshall pode-se inferir que o resíduo do Caulim proporciona uma mistura mais flexível e, portanto, com uma menor probabilidade de fissuras prematuras durante vida útil do pavimento.

5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

São necessárias mais pesquisas, objetivando um melhor conhecimento das propriedades destes materiais quando utilizados como agregado miúdo e como filer, no caso do Caulim e no caso da Serragem de granito, em misturas asfálticas. Para isso, sugere-se:

- realizar dosagem individualmente para os dois resíduos, com o objetivo de saber qual é realmente os seus melhores desempenhos;
- executar e observar o comportamento de um trecho experimental utilizando os materiais da pesquisa;
- realizar ensaios com carga repetida, ensaio de fadiga, em misturas contendo teores de fileres sob diferentes condições de umidade;
- realizar ensaios de cisalhamento em masticue contendo teores de fileres difentes.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR-10005. Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____, NBR-10006. Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____, NBR-10007. Amostragem de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

_____, P-MB-517. Determinação da Viscosidade Saybolt Furol de m

COELHO, V., Considerações Sobre o Método Marshall, in: 26ª Reunião Anual de Pavimentação, Aracaju – SE, 1992

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no. 001/86.

D'ANGELO, J.D & ANDERSON, R.(2003) M., Material Production, Mix Design, and Pavement Design Effects on Moisture Damage. In:Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, San Diego, Transportation Research Board, California, 2003

DARONCHO, C.(2001), Contribuição à Análise de Qualidade de Viagem e suas Relações com a Distribuição de Defeitos em Segmentos de Rodovias, dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo- Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2001

DAROUS, J. , Estudo Comparativo de Cálculo de Tensões e Deformações Utilizados em Dimensionamento de Pavimentos Asfálticos Novos, dissertação de mestrado, COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro , 2003

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (1998). Pesquisa de asfaltos modificados por polímeros – Relatório Final. Ministério dos Transportes. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Tomo I e II.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, EM 367/97, Material de Enchimento para Misturas Betuminosas, Rio de Janeiro, 1997.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transportes, ES 313/97. Pavimentação – Concreto Betuminoso – Norma Rodoviária. Rio de Janeiro, 1997.

_____, ME 083/98. Agregados – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

_____, ME 081/98. Agregados – Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro, 1998.

_____, ME 084/95. Agregado miúdo – Determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1995.

_____, ME 051/94. Solos – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1994.

_____, ME 093/94. Solos – determinação da densidade real. Rio de Janeiro, 1994.

_____, ME 054/97. Equivalente de areia. Rio de Janeiro, 1997.

_____, ME 078/94. Agregado graúdo – Adesividade ao ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1994.

_____, ME 003/99. Material Betuminoso – Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 1999.

_____, ME 148/94. Material Betuminoso – Determinação do ponto de fulgor e de combustão. Rio de Janeiro, 1994.

_____, ME 213/94. Solos – Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 1994.

_____, ME 138/94. Misturas betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, 1994.

_____, ME 117/94. Mistura betuminosa – Determinação da densidade aparente. Rio de Janeiro, 1994.

_____, ME 043/95. Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

_____, ES 031/04. Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificações de serviços, 2004.

E & FORUM. Publicação: Exploration and Production (E & P) Waste management guidelines. Report Nº 2.58/196, Setembro de 1993.

EPPS, J. et al, Treatments. In: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, San Diego, Transportation Research Board, California, 2003

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes, (1995). Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza.

FARIAS, M.M., ROSENO, J.L. & CARVALHO, J.C., Anisotropia das Propriedades Hidráulicas de Asfaltos Drenantes com Agregados Calcários, 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2004

FELLENBERG, G. "Introdução aos Problemas da Poluição Ambiental". 2ª Edição. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 1980, 193p.

FERREIRA, H. C. Caracterização e Aplicações Industriais de Argilas, Caulins e Feldspatos do Nordeste Brasileiro (Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte). São Paulo, 1972. 199p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo –Escola Politécnica- Departamento de Engenharia Química.

FREIRE, A. S.; MOTTA, J. F. M. (1995), Rochas de Qualidade, julho/agosto, Edição 123

FURLAN, A.P. et al, Algumas Considerações Acerca de Ensaio para Avaliação do Dano por Umidade em Mistura Asfáltica Densa, in : 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2004

GIUNTONI, M. (1993), Problemática de Variação do Impacto Ambiental na Indústria de Transformadora de Pedras Naturais. Rochas e Equipamentos, Revista de

GOGULA et al, Correlation between the Laboratory and Field Permeability Values for the SUPERPAVE Pavements, in: 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Iowa, 2003

GONÇALVES, J. V., MAZONI, S. A. & SCHMIDT, L. A. (1986), Solo Estabilizado com Cinza Volante e Cal, uma Experiência no Rio Grande do Sul, 21ª Reunião Anual de Pavimentação, ABPv, Florianópolis, SC, vol 1

GONZÁLEZ et al, Rheology and Stability of Bitumen / EVA Blends, Elsevier Science Ltd. , USA, 2004

GOULD, J.S. et al, Development of a Rational Procedure for Evaluation of Moisture Susceptibility of Asphalt Paving Mixes, in 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington DC, USA, 2003

HAININ, H.R et al , Production and Construction Issues for Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements. In: Moisture Sensitivity Of Asphalt Pavements, San Diego, Transportation Research Board, California, 2003

HARRIGAN, E.T. , LEAHY, R.B. & YOCHEFF, J.S., The SUPERPAVE Mix Design System Manual of specification, Test Methods, and Practices, Strategic Highway Research Program, SHRP-A-379, 1994

HARRIS, Basil M., STUART, Kevin D., 1995, "Analysis of Mineral Fillers and Mastics Used in Stone Matrix Asphalt". Journal of The Association of Asphalt Paving Technologists –AAPT, v. 64, pp. 54-95, Portland, Oregon, EUA, 27-29 Março.

HIGASHI, R.R., LIMA, T.L. & SPRÍGIGO, T., Análise de Viabilidade da Utilização de Misturas de Solo-Cinza Pesada para Pavimentação, in : 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2004

HUNTER, e.r., & KSAIBATI, k., Evaluating Moisture Susceptibility of Asphalt Mixes, Universidade de Wyoming, usa, 2003

IBP, 1999, Informações Básicas sobre Materiais Asfálticos. 6 ed. rev. Rio de Janeiro, IBP/Comissão de Asfalto.

IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo (1994). Informações básicas sobre materiais asfálticos. Comissão de asfalto. 68p.

IBRAHIM, H. et al , Laboratory Study of Asphalt Concrete Durability in Jeddah, Building and Environment, Volume 33, Elsevier Science Ltd., pp. 219-230, USA, 1998

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineralogia. (1992) “Mineração e Meio Ambiente. Brasília, DF. Comissão Técnica de Meio Ambiente/Grupo de Trabalho e Redação

INSTITUTO DE ASFALTO, 2001, Tradução do Manual de Asfalto. Série do Manual n°. 4 (MS-4), Edição 1989, Instituto de Asfalto.

JONES, D.R. & LITTLE, D.N., Chemical and Mechanical Processes of Moisture Damage in Hot- Mix Asphalt Pavements. in: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, San Diego, Transportation Research Board, California, 2003

KANDHAL, P.S., Moisture Susceptibility of HMA Mixes: Identification of Problem and Recommended Solutions, NCAT (National Center for Asphalt Technology of Auburn University) Report N°. 92-1, USA, 1992

LEAL, C.L.D. & CASTRO, P.F., Concreto Asfalto: Utilização de Resíduos como Filer, In : 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2004

LEITE et al, Princípios do Projeto e Análise SUPERPAVE de Misturas Asfálticas, Petróleo Brasileiro S.A – PETROBAS, Rio de Janeiro ,1996

LITTLE, D.N & EPPS, J.A. ,A, The Benefits of Hydrate Lime in Hot Mix Asphalt, prepared for National Lime Association, USA, 2001

LITTLE, D.N & EPPS, J.A. ,B, Hydrated Lime – More than just a Filler, prepared for National Lime Association, USA, 2001

LU, X.; ISACSSON, U.; EKBLAD, J. (1999). Rheological properties of SEBS, EVA and EBA polymer modified bitumens. Materials and Structures, V. 32, p. 131-139.

MALLICK, R.B. et al, An Evaluation of Factors Affecting Permeability of SUPERPAVE Designed Pavements, NCAT Report 03-02, USA, 2003

MATTOSO, S. Q.; VIDAL, J. L. B. Notas Sobre Algumas Argilas de Pernambuco. Cerâmica 12 (47-48), 20 (1996).

MEDINA, J. , Mecânica dos Pavimentos, COPPE-UFRJ, editora UFRJ, Rio de Janeiro, 1997

MOCRE, V.M., Evaluation of a Laboratory Accelerated Stripping Simulator for Hot Mix Asphalt Mixes, dissertação de Mestrado, Mississippi, Universidade Do Estado do Mississippi , 2004

MOLIER, L. M. e BARROS, R. T. V. (1995), Limpeza Pública In: Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios

MOTTA, Tm

- MOTTA, J. F. e FREIRE (1995), Potencialidades para o Aproveitamento Econômico do Resíduo de Granito, Rochas de Qualidade, Granitos Mármore e Pedras Ornamentais. EMC Editores Associados Ltda, São Paulo, Edição 123, Julho/Agosto pg. 98-108
- MOURÃO, F. A. L., Misturas Asfálticas de Alto Desempenho, Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2003
- NEVES, G. A. Reciclagem de resíduos da Serragem de Granitos para uso como matéria prima cerâmica. Campina Grande, 2002. 256p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba.
- OLIVEIRA, C.G.M, Estudo das Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante, dissertação de Mestrado, UNB, Brasília, 2003
- PAIVA, C.E.L & SILVA, C.E.D.B.D, Estudo da Permeabilidade de Misturas Betuminosas. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, ABPV, São Paulo, 2003
- PEREIRA, M & PARREIRA, A.B, Estudo da Influência da Umidade na pós - compactação no Índice de Suport CBR de Solos no Subleito de Rodovias no Interior de São Paulo. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, ABPV, São Paulo, 2003
- PETRUCCI, Eladio G. R., 1922-1975. Materiais de construção. 11. Ed. – São Paulo: Globo, 1998.
- PINTO, Salomão, PREUSSLER, Ernesto S., 2002, Pavimentação Rodoviária – Conceitos Fundamentais sobre Pavimentos Flexíveis. 2 ed. Rio de Janeiro, Copiarte.
- PUZINAUSKAS, V.P., Filler in Asphalt Mixtures, Research Report No. 69-2 (RR-69-2), Asphalt Institute, Kentucky - U.S.A., 1983
- ROBERTS, F.L et al, Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction, Napa Research and Education Foundation, Second Edition, Maryland, USA, 1996
- ROCHAS DE QUALIDADE. (1993), Granito, Mármore e Pedras Ornamentais. “Ceternag Desenvolve Equipamentos para Lama Abrasiva”. São Paulo. Edição 115, pg 92. Outubro/Novembro/Dezembro
- REZENDE, Liliam Ribeiro (1999), Técnicas Alternativas para a Construção de Bases de Pavimentos Rodoviários, Brasília – DF, Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil.
- REZENDE, L.R, Estudo do Comportamento de Materiais Alternativos Utilizados em Estruturas de Pavimentos Flexíveis, tese de Doutorado, UNB, Brasília, 2003
- SANTANA, Humberto, 1995, “Considerações sobre os Nebulosos Conceitos e Definições de Filler em Misturas Asfálticas”. In: Anais da Reunião Anual de Pavimentação – 29º RAPV, v. 01, pp. 575-604, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, 23- 27 Outubro.
- SANTANA, H., Considerações sobre os Nebulosos Conceitos e Definições de filler em Misturas Asfálticas, In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá, ABPV, Volume I, Mato Grosso, 1995
- SHASHIDHAR, N., SHENOY, A. On Using Micromechanical Models to Describe Dynamic Mechanical Behavior of Asphalt Mastics, Mechanics of Materials, Elsevier Science Ltd, Pp. 657-669, USA, 2002.
- SILVA, S. P. Geologia do Caulim. 2ª ed., Belém: DNPM 5º DS/DNPM, 1993, 18p. il.
- SILVA, Sérgio Augusto Chagas (1998), Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassa de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Vitória. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Espírito Santo

- SILVA, S.A (1998). Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granitos. Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas e assentamento e de tijolos de solo-cimento. Vitória, 159p. Dissertação de (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo.
- SILVA, P.D.E.A., Estudo do Reforço de Concreto de Cimento Portland (Whitetopping) na Pista Circular Experimental do Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2001
- SOUZA, J. N., Utilização do Resíduo da Serragem de Rochas Graníticas como Filler no Concreto Asfáltico Usinado a Quente – Campina Grande. 107p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Paraíba, 2001
- STEFENON, F. & CERATTI, J.A.P., Incorporação de Resíduos Industriais em Misturas Asfálticas para Aplicação em Pavimentação, In : 35ª Reunião Anual de Pavimentação, Rio De Janeiro, 2004
- THIENSEN, M. P. Metodologia de minimização aplicada no gerenciamento de resíduos. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa –PB, Setembro de 2001.
- TANDO, V. et al, Test Methods to Predict Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Pavements. In: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, San Diego, Transportation Research Board, California, 2003
- TOPAL, A. & SENGOZ, B. , Determination of Fine Aggregate Angularity in Relation with the Resistance to Rutting of Hot-Mix Asphalt, Construction and Building Materials, Elsevier Science Ltd, USA, 2004
- VALLE, N. & TRICHÊS, G. , Influência do Teor de Umidade e da Recompactação no Comportamento de Solos Residuais Saprolítico Utilizados na Pavimentação em Santa Catarina. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá, ABPV, Volume I, Mato Grosso, 1995
- VERTAMATTI, E. et al, Um Estudo da Determinação da Umidade de Solos Arenosos em Laboratório. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá, ABPV, Volume I, Mato Grosso, 1995
- VIDAL, Francisco Wilson Holanda.; STELLING, Antônio Júnior. (1995). A Indústria de Rochas Extrativas de Rochas Ornamentais no Ceará - Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo
- WESSELING, D. H. et al, Estudo Laboratorial do Comportamento de Misturas em Concreto Asfáltico com diferentes tipos de fillers. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas , ABPV, São Paulo, 2003

7 - ANEXOS

Anexo A – Dosagem Marshall

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos experimentos realizados para o ensaio Marshall para a dosagem do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

Anexo B – Ensaio Marshall

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos experimentos realizados.

Anexo C – Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos experimentos realizados com o auxílio do pórtico de *Lottman*.

Anexo D – Ensaio de sedimentação

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes do ensaio de sedimentação com o hexametafosfato.

Anexo E – Distribuição dos tamanhos das partículas por difração à laser

Constam gráficos resultantes dos ensaios com o analisador de partículas por difração à laser.

Anexo F – Espectrofotometria por absorção atômica

Constam os resultantes dos ensaios de análise química por espectrofotometria por absorção atômica.

Anexo G – Equivalente areia do Caulim e adesividade do agregado graúdo

Constam os resultantes dos ensaios de equivalente areia do Caulim e da adesividade do agregado graúdo.

7.1 - ANEXO A

7.1.1 - Dosagem Marshall

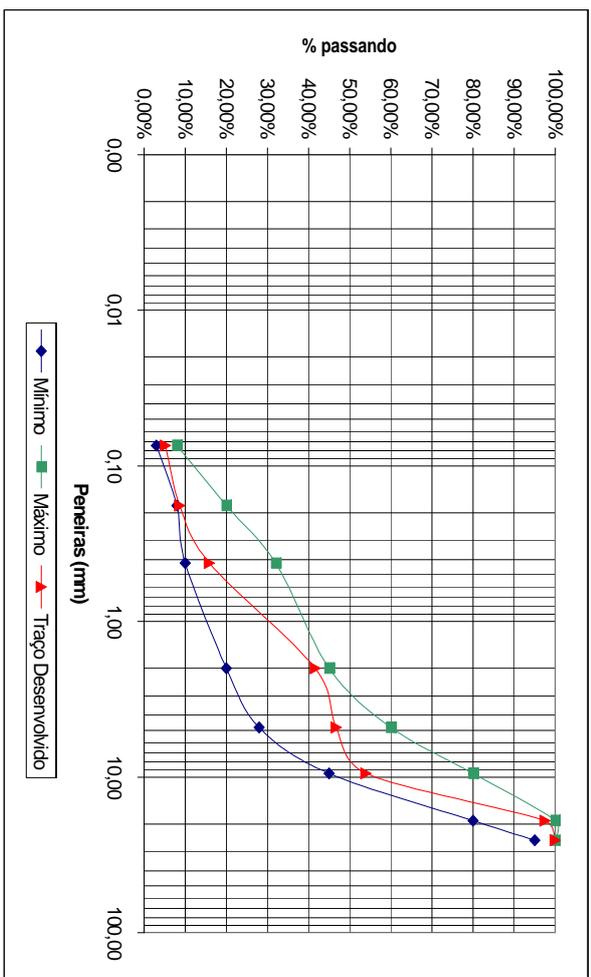
p Constam planilhas de cálculos e gráficos do “piloto”, resultantes do

Quadro 7.1 – Elaboração do traço para o Píldo

Cálculos para a elaboração de traços de C.B.U.Q.

Resíduo utilizado:		100,00%		Operador: Maciel Wallace Queiroz Fernandes		Data:			
Porcentagem do resíduo utilizado:		100,00%							
Peneira (mm)	Brita 19		Areia		Materiais Convencionais		Resíduo	Faixa B DNIT	
	Total	%	Total	%	Total	%		Resultado	Mínimo
76,20	50,00%		45,00%		5,00%		0,00%	100,00%	
63,50							0,00%		
50,80							0,00%		
38,10							0,00%		
25,40	100,00%	50,00%	100,00%	45,00%	100,00%	5,00%	0,00%	100,00%	95,00%
19,10	95,45%	47,73%	99,43%	44,74%	100,00%	5,00%	0,00%	97,47%	80,00%
9,50	11,41%	5,71%	96,06%	43,23%	100,00%	5,00%	0,00%	53,93%	45,00%
4,80	0,12%	0,06%	92,54%	41,64%	100,00%	5,00%	0,00%	46,70%	28,00%
2,00	0,06%	0,03%	81,33%	36,60%	100,00%	5,00%	0,00%	41,63%	20,00%
0,42	0,00%	0,00%	24,14%	10,86%	100,00%	5,00%	0,00%	15,86%	10,00%
0,18	0,00%	0,00%	8,20%	3,69%	100,00%	5,00%	0,00%	8,69%	8,00%
0,074	0,00%	0,00%	0,43%	0,19%	100,00%	5,00%	0,00%	5,19%	3,00%

Observações:



Quadro 7.2 – Dosagem Marshall [5,0% Filler CAL e 4,5% CAP - (Piloto)]

DOSAGEM MARSHALL

ATECEL - 5,0% Filler (CAL) - 4,5% CAP - 3CP - Sem Imersão

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %		Letura no deflecionômetro	Estabilidade			Fluência 1" / 100
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	RBV		Total	Lida (Kg)	Correção (tabela)	
1A	4,5	6,370	1193,5	698,9	494,6	2,413	2,501	10,573	85,919	3,508	14,081	75,087	3,508	7	645,806	1	645,81	5,56
2A	4,5	6,400	1187,7	697,9	489,8	2,425	2,501	10,625	86,339	3,036	13,661	77,776	3,036	7	732,97	0,99	725,64	5,56
3A	4,5	6,510	1195,3	698,8	496,5	2,407	2,501	10,549	85,719	3,732	14,281	73,865	3,732	11	653,73	0,96	627,58	8,73
M	4,5	6,427	1192,17	698,8	493,63	2,42	2,50					75,58	3,43				666,34	6,61

Trapo I	Densidades	%	% corrigidas	degeg
Brita 19	2,72	50	47,75	2,682
Areia	2,669	45	42,98	
Cal	2,45	5	4,78	K marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	1,981

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	3,508	10,573	14,081	75,087
2	3,036	10,625	13,661	77,776
3	3,732	10,549	14,281	73,865
M	3,425	10,582	14,008	75,576



Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
DNER-ME: 1	3 a 5	4 a 6
DNER-ME: 1	75 - 82	65 - 72
DNER-ME: 1	500	500
DNER-ME: 1	0,65	0,65

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

Trapo I	% corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia	42,98	515,70
Cal	4,78	57,30
CAP	4,50	54,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Quadro 7.3 – Dosagem Marshall [5,0% Filler CAL e 5,0% CAP - (Piloto)]

DOSAGEM MARSHALL

ATECEL - 5,0% Filler (CAL) - 5,0% CAP - 3CP - Sem Imersão

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %		Leitura no deflecionômetro	Estabilidade			Fluência 1 ^o /100
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	RBV		Total	Lida (kg)	Correção (tabelas)	
1B	5	6,240	1192,8	692,4	500,4	2,384	2,482	11,605	84,429	3,966	15,571	74,529	3,966	6	277,34	1,03	285,66	4,76
2B	5	6,300	1196	693,9	502,1	2,382	2,482	11,597	84,368	4,035	15,632	74,189	4,035	8	267,435	1,01	270,11	6,35
3B	5	6,410	1194,9	694,5	510,4	2,341	2,482	11,398	82,920	5,682	17,080	66,732	5,682	8	366,485	0,99	362,82	6,35
M	5	6,32	1194,57		504,30	2,37	2,48					71,82	4,56				306,20	5,82

Traco II	Densidades	%	% corrigidas	degre
Brita 19	2,72	50	47,50	2,682
Areia	2,669	45	42,75	
Cal	2,45	5	4,75	K Marshall
CAP	1,027	5	5,00	1,981

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	3,966	11,605	15,571	74,529
2	4,035	11,597	15,632	74,189
3	5,682	11,398	17,080	66,732
M	4,561	11,533	16,094	71,817



Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72
DNER-ME 043	500	500
DNER-ME 138	0,65	0,65

VAM - Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado	VAM Mínimo %	
	#	m m
1½"	38,1	13
1"	25,4	14
¾"	19,1	15
½"	12,7	16
3/8"	9,5	18

Traco II	% corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,50	570,00
Areia	42,75	513,00
Cal	4,75	57,00
CAP	5,00	60,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

VAM – Vazios do Agregado Mineral

Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo %
#	m m	
1½"	38,1	13
1"	25,4	14
¾"	19,1	15
½"	12,7	16
3/8"	9,5	18

Quadro 7.5 – Dosagem Marshall [5,0% Filler CAL e 6,0% CAP - (Piloto)]

DOSAGEM MARSHALL

ATECEL - 5,0% Filler (CAL) - 6,0% CAP - 3CP - Sem Imersão

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %			Leitura no defletor/nômetro	Estabilidade		Fluência
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	RBV	Total		Lida (Kg)	Correção (tabela)	
1D	6	6	6,220	1188,9	682	496,9	2,393	2,446	13,978	83,853	2,168	16,147	86,571	2,168	257,53	0,9	231,78	6,35
2D	6	6	6,210	1189,4	692,5	496,9	2,394	2,446	13,984	83,889	2,127	16,111	86,797	2,127	475,44	0,91	432,65	4,76
3D	6	6	6,290	1190,8	689,2	501,6	2,374	2,446	13,870	83,200	2,930	16,800	82,558	2,930	366,485	0,91	333,50	6,35
M	6	6	6,24	1189,70		496,47	2,39	2,45				85,31	2,41				332,64	5,82

Traço IV	Densidades	%	% corrigidas	degreg
Brita 19	2,72	50	47,00	2,682
Aveia	2,669	45	42,30	
Cal	2,45	5	4,70	K marshall
CAP	1,027	6	6,00	1,981

CP	Vazios	VOB	VAM	RBV
1	2,168	13,978	16,147	86,571
2	2,127	13,994	16,111	86,797
3	2,930	13,870	16,800	82,558
M	2,409	13,944	16,353	85,309

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)	Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	
				DNER-MIE 043	DNER-MIE 138
Porcentagem de vazios, %	DNER-MIE 043	3 a 5	4 a 6		
Relação betume/vazios	DNER-MIE 043	75 - 82	65 - 72		
Estabilidade, mínima, (Kg ^f) (75 golpes)	DNER-MIE 043	500	500		
				0,65	0,65

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

Traço IV	% corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,00	564,00
Aveia Caulim	42,30	507,60
Caulim	4,70	56,40
CAP	6,00	72,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Quadro 7.6 – Dosagem Marshall [5,0% Filler CAL e 6,5% CAP - (Piloto)]

DOSAGEM MARSHALL

ATECEL - 5,0% Filler (CAL) - 6,5% CAP - 3CP - Sem Imersão

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total		Vazios - %		Leitura no defletômetro	Estabilidade		Fluência		
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados		RBV	Total		Lida (Kg)	Correção (tabela)
1E	6,5	6,250	6,250	1188,6	688,4	500,2	2,376	2,428	15,040	82,836	2,124	17,164	87,623	2,124	366,58	1,02	363,71	7,14
2E	6,5	6,280	6,280	1186,6	687,4	499,2	2,377	2,428	15,044	82,862	2,093	17,138	87,785	2,093	247,625	1,02	252,58	6,35
3E	6,5	6,300	6,300	1189,1	687,1	502	2,369	2,428	14,992	82,574	2,434	17,426	86,031	2,434	455,63	1,02	464,74	5,56
M	6,5	6,27	6,27	1188,10		500,47	2,37	2,43				87,15	2,22		360,34		360,34	6,35

Traco V	Densidades	%	%corrigidas	degreg
Brita 19	2,72	50	46,75	2,682
Aveia	2,669	45	42,08	
Cal	2,45	5	4,68	K Marshall
CAP	1,027	6,5	6,50	1,981

CP	Vazios	VOB	VAM	RBV
1	2,124	15,040	17,164	87,623
2	2,093	15,044	17,138	87,785
3	2,434	14,992	17,426	86,031
M	2,217	15,025	17,243	87,146

Características	Método de ensaio	Número de Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)	Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	
				043	065
Relação de vazios	DNEI	3 a 5	4 a 6		
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNEI	75 - 82	65 - 72		
	DNEI	500	500		
	DNEI	0,65	0,65		

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

Traco V	%corrigidas	Composição em g
Brita 19	46,75	561,00
Aveia Caulim	42,08	504,90
Caulim	4,68	56,10
CAP	6,50	78,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Quadro 7.7 – Dosagem Marshall [5,0% Filler CAL e 7,0% CAP - (Piloto)]

DOSAGEM MARSHALL

ATECEL - 5,0% Filler (CAL) - 7,0% CAP - 3CP - Sem Imersão

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total		Vazios - %		Leitura no deflecionômetro	Estabilidade		Fluência			
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados		RBV	Total		Lida (Kg)	Correção (tabela)	Corrigida (Kg)
1F	7	7	6,230	1180,2	683,4	496,8	2,376	2,410	16,192	82,371	1,437	17,629	91,847	1,437	7	297,15	1,03	306,06	5,56
2F	7	7	6,250	1180,5	681,2	499,3	2,364	2,410	16,115	81,979	1,906	18,021	89,424	1,906	9	316,96	1,03	326,47	7,14
3F	7	7	6,290	1187,4	685,1	502,3	2,364	2,410	16,112	81,966	1,922	18,034	89,344	1,922	11	198,1	1,02	202,06	8,73
M	7	7	6,26	1182,70	685,1	499,47	2,37	2,41					90,21	1,75				278,20	7,14

Traco VI	Densidades	%	%corrigidas	degreg
Bitla 19	2,772	50	46,50	2,682
Areia	2,669	45	41,85	
Cal	2,45	5	4,65	K marshall
CAP	1,027	7	7,00	1,981

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	1,437	16,192	17,629	91,847
2	1,906	16,115	18,021	89,424
3	1,922	16,112	18,034	89,344
M	1,755	16,140	17,895	90,205

Resumo da Tabela		Camada de Rolamento		Camada de Ligação (Binder)	
3 a 5	4 a 6	75 - 82	65 - 72	500	500
0,65	0,65				

VAM – Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado	#	VAM Mínimo %
38,1	1½"	13
25,4	1"	14
19,1	¾"	15
12,7	½"	16
9,5	3/8"	18

Traco VI	%corrigidas	Composição em g
Bitla 19	46,50	558,00
Areia Caulim	41,85	502,20
Caulim	4,65	55,80
CAP	7,00	84,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Quadro 7.8 – Dosagem Marshall [5,0% Filler CAL e 7,5% CAP - (Pilotos)]

DOSAGEM MARSHALL

ATECEL - 5,0% Filler (CAL) - 7,5% CAP - 3CP - Sem Imersão

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %		Leitura no deflecionista ^{no}	Estabilidade		Fluência	
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	RBV		Total	Lida (Kg)		Correção (tabela)
1G	7,5	6,330	1181,6	680	501,6	2,356	2,393	17,203	81,240	1,557	18,760	91,701	1,557	9	247,625	1	247,63	7,14
2G	7,5	6,300	1175,8	677,3	498,5	2,359	2,393	17,225	81,344	1,431	18,656	92,330	1,431	8	237,72	1,01	240,10	6,35
3G	7,5	6,320	1186,7	683,4	503,3	2,358	2,393	17,219	81,315	1,466	18,685	92,154	1,466	9	247,625	1,01	250,10	7,14
M	7,5	6,32	1181,37		501,13	2,36	2,39					92,0616	1,4846				245,94	6,88

Traco VII	Densidades	%	%corrigidas	deqreg
Brita 19	2,72	50	46,25	2,682
Areia	2,689	45	41,63	
Cal	2,45	5	4,63	K Marshall
CAP	1,027	7,5	7,50	1,981

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	1,557	17,203	18,760	91,701
2	1,431	17,225	18,656	92,330
3	1,466	17,219	18,685	92,154
M	1,485	17,216	18,700	92,062

Porcentagem de ligante	Relação betuna	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Blinder)	Estabilidade, milhões de vazios, % (75 golpes)	Resistência à Tração Compressão Dinâmica, (Kg)	
						Resistência à Tração Compressão Dinâmica, (Kg)	Resistência à Tração Compressão Dinâmica, (Kg)
		DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6			
		DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72			
		DNER-ME 043	500	500			
		DNER-ME 138	0,65	0,65			

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

Traco VII	%corrigidas	Composição em g
Brita 19	46,25	555,00
Areia Caulim	41,63	499,50
Caulim	4,63	55,50
CAP	7,50	90,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

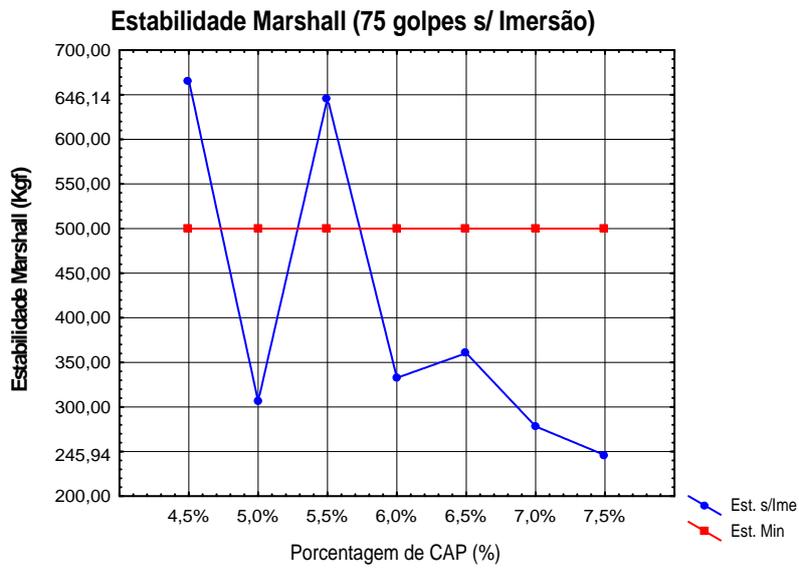


Figura 7.1 – Estabilidade em função do teor de CAP [filer Cal 5%]

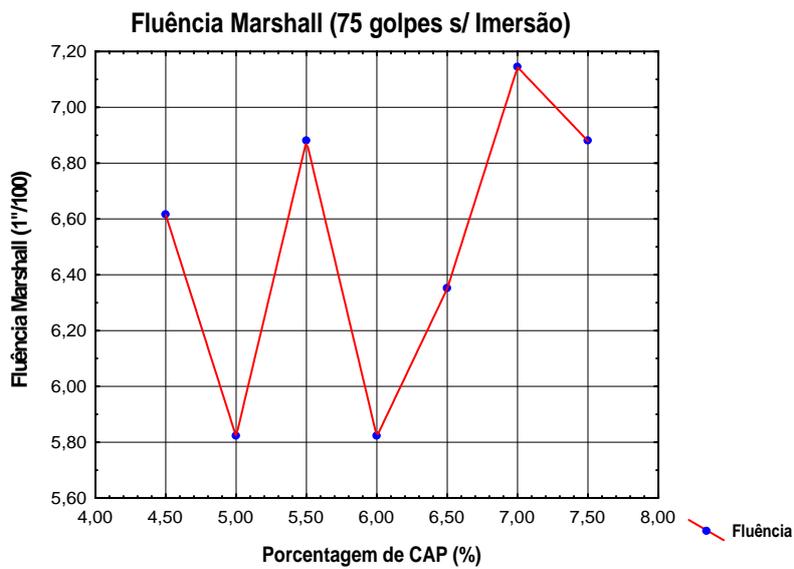


Figura 7.2 – Fluência em função do teor de CAP [filer Cal 5%]

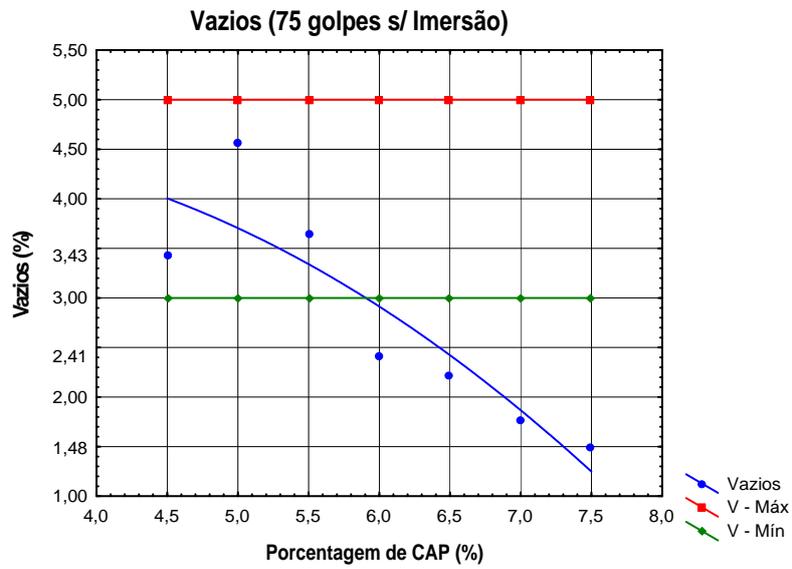


Figura 7.3 – Vazios em função do teor de CAP [filer Cal 5%]

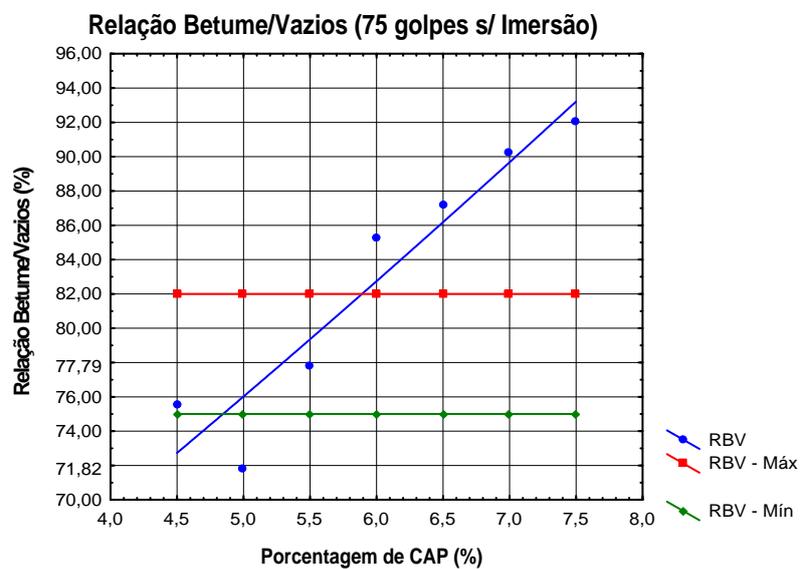


Figura 7.4 – Relação betume/vazios em função do teor de CAP [filer Cal 5%]

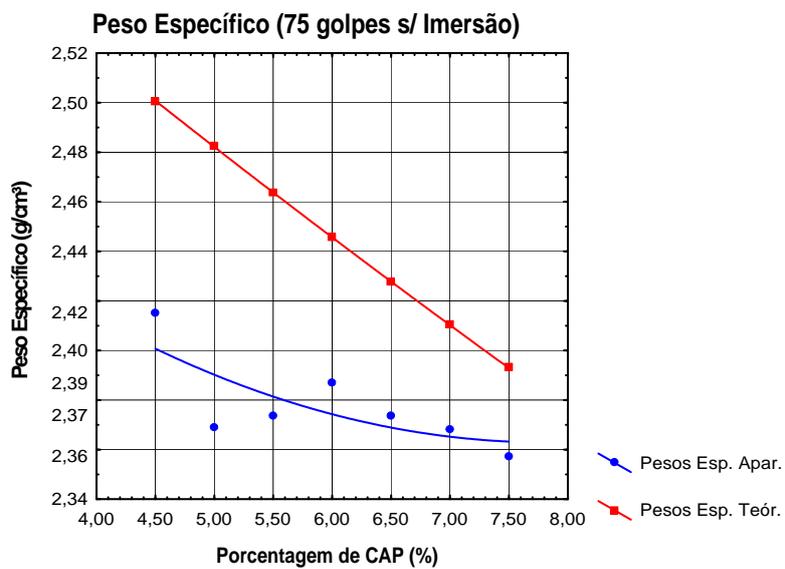


Figura 7.5 – Peso específico em função do teor de CAP [filer Cal 5%]

7.2 - ANEXO B

7.2.1 - Ensaio Marshall

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos experimentos realizados seguindo a metodologia Marshall.

Quadro 7.11 – Ensaio Marshall [4,0% de Filler Caulim]

ENSAIO MARSHALL

ATECEL - 4,0% Filler (Caulim) - 4,5% CAP - 3CP - Com e Sem Imersão*

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Ligante	Volume - % total		Vazios - %		Leitura no defleto	Estabilidade		Fluência		
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)		Agregados	Vazios	Agregados	RBV		Total	Lida (Kg)		Correção (tabela)	Corrigida (Kg)
1	4,5	6,783	6,783	1183,8	671,2	512,6	2,309	2,508	10,119	81,967	7,914	18,033	56,115	7,914	9	643,825	0,9	579,44	7,14
2	4,5	6,757	6,757	1184,6	674,1	510,5	2,320	2,508	10,168	82,360	7,472	17,640	57,640	7,472	8	594,3	0,91	540,81	6,35
3	4,5	6,743	6,743	1187,3	679,4	507,9	2,338	2,508	10,243	82,970	6,787	17,030	60,148	6,787	10	574,49	0,91	522,79	7,94
M	4,5						2,32	2,51					57,97	7,39				547,68	7,14
4*	4,5	6,777	6,777	1187,1	671,2	515,9	2,301	2,508	10,082	81,670	8,248	18,330	55,005	8,248	11	633,92	0,9	570,53	8,73
5*	4,5	6,760	6,760	1184,2	673,8	510,4	2,320	2,508	10,166	82,348	7,485	17,652	57,593	7,485	11	931,07	0,91	847,27	8,73
6*	4,5	6,753	6,753	1206	688,5	517,5	2,330	2,508	10,211	82,714	7,075	17,286	59,071	7,075	10	832,02	0,91	757,14	7,94
M	4,5					512,47	2,32	2,51					57,22	7,60				724,98	8,47

Traco II	Densidades	%	%corrigidas	dragreg
Brita 19	2,72	50	47,75	2,691
Areia Caulim	2,669	46	43,93	
Caulim	2,584	4	3,82	K Marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	1,981

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	7,914	10,119	18,033	56,115
2	7,472	10,168	17,640	57,640
3	6,787	10,243	17,030	60,148
M	7,39	10,18	17,57	57,97
4*	8,248	10,082	18,330	55,005
5*	7,485	10,166	17,652	57,593
6*	7,075	10,211	17,286	59,071
M	7,60	10,15	17,76	57,22

Traco II	%corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia Caulim	43,93	527,16
Caulim	3,82	45,84
CAP	4,50	54,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)	VAM – Vazios do Agregado Mineral	
				Tamanho Nominal Máximo do agregado	VAM Mínimo %
Relação betume/vazios	IER-ME 043	3 a 5	4 a 6	#	m m
Estabilidade mínima (75 golpes)	IER-ME 043	75 – 82	65 – 72	1 1/2"	38,1
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima (kN/m ²)	IER-ME 043	500	500	1"	25,4
	IER-ME 043	500	500	3/4"	19,1
	IER-ME 138	0,65	0,65	1/2"	12,7
				3/8"	9,5

Tração Diametral			
CP	RT	DEF	
7	1,06	3	
8	1,22	5	
9*	0,70	7	
10*	0,53	6	

Quadro 7.12 – Ensaio Marshall [5,0% de Filler Caulim]

ENSAIO MARSHALL

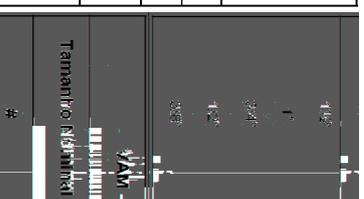
ATECEL - 5,0% Filler (Caulim) - 4,5% CAP - 3CP - Com e Sem Imersão*

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %		Leitura no defleto	Estabilidade		Fluência 1 ^o /100		
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	RBV		Total	Lida (Kg)		Correção (tabelas)	Corrigida (Kg)
1	4,5	6,617	6,617	1193,2	681,2	502	2,357	2,507	10,328	83,683	5,989	16,317	63,294	5,989	5	714,7	0,94	671,82	3,97
2	4,5	6,589	6,589	1206,3	694,3	512	2,356	2,507	10,324	83,651	6,026	16,349	63,144	6,026	5	816,8	0,95	775,96	3,97
3	4,5	6,593	6,593	1191,2	689,4	501,8	2,374	2,507	10,402	84,283	5,316	15,717	66,179	5,316	5	878,06	0,94	825,38	3,97
M	4,5						2,36	2,51					64,21	5,78				757,72	3,97
4*	4,5	6,610	6,610	1202,4	691,2	511,2	2,352	2,507	10,306	83,511	6,183	16,489	62,503	6,183	9	1082,26	0,94	1017,32	7,14
5*	4,5	6,673	6,673	1197,8	693,8	504	2,377	2,507	10,413	84,380	5,207	15,620	66,667	5,207	10	959,74	0,93	892,56	7,94
6*	4,5	6,560	6,560	1197,4	690,5	506,9	2,362	2,507	10,350	83,869	5,781	16,131	64,165	5,781	8	1143,52	0,95	1086,34	6,35
M	4,5	6,61	6,61	1196,38		506,32	2,36	2,51					64,44	5,72				998,74	7,14

Traco III	Densidades	%	%corrigidas	daqreg
Brita 19	2,72	50	47,75	2,690
Areia Caulim	2,669	45	42,98	
Caulim	2,584	5	4,78	K marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	5,989	10,328	16,317	63,294
2	6,026	10,324	16,349	63,144
3	5,316	10,402	15,717	66,179
M	5,78	10,35	16,13	64,21
4*	6,183	10,306	16,489	62,503
5*	5,207	10,413	15,620	66,667
6*	5,781	10,350	16,131	64,165
M	5,72	10,36	16,08	64,44

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)	Resistência a Tração por Compressão Diametral, estática a 25°C, mínima, MPa	
				DNER-MIE 138	DNER-MIE 138
Porcentagem de vazios, %	DNER-MIE 043	3 a 5	4 a 6		
Relação betune/vazios	DNER-MIE 043	75 – 82	65 – 72		
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNER-MIE 043	500	500		



Vazios do Agregado Mineral		VAM Mínimo %
lâximo do agregado	m m	
	38,1	13
	25,4	14
	19,1	15
	12,7	16
	9,5	18

Traco III	%corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia Caulim	42,98	515,70
Caulim	4,78	57,30
CAP	4,50	54,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Tração Diametral		
CP	RT	DEF
7	1,07	4
8	1,06	3
9*	0,66	5
10*	0,81	4

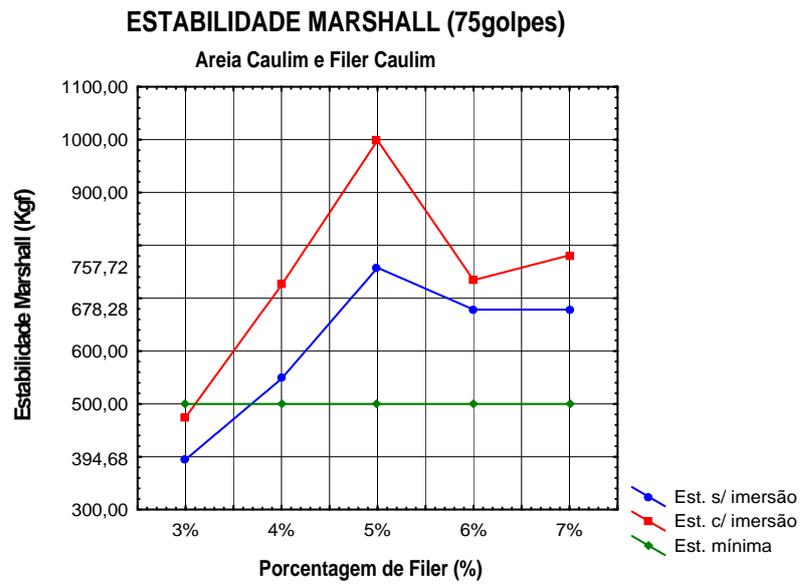


Figura 7.6 – Estabilidade em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]

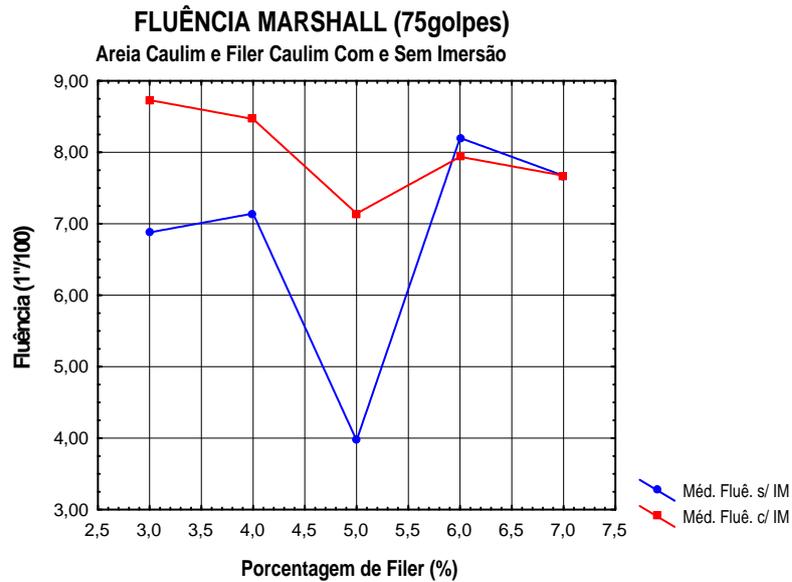


Figura 7.7 – Fluência em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]

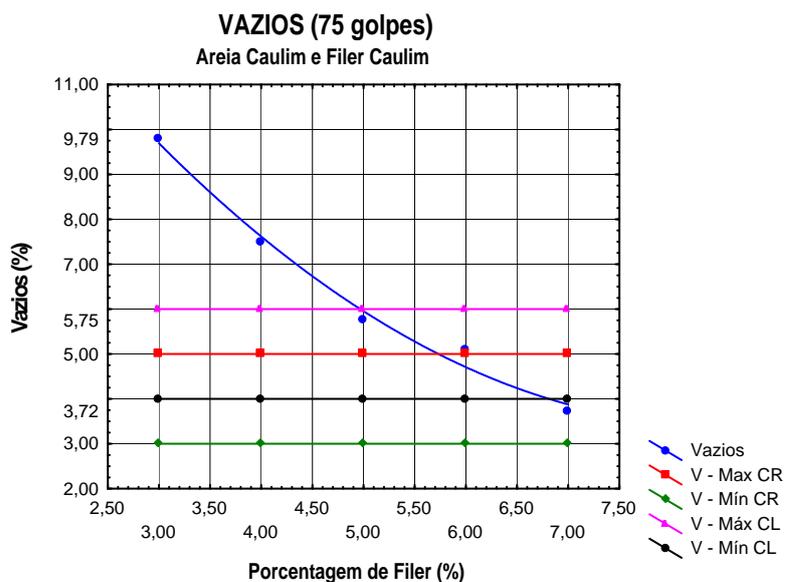


Figura 7.8– Vazios em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]

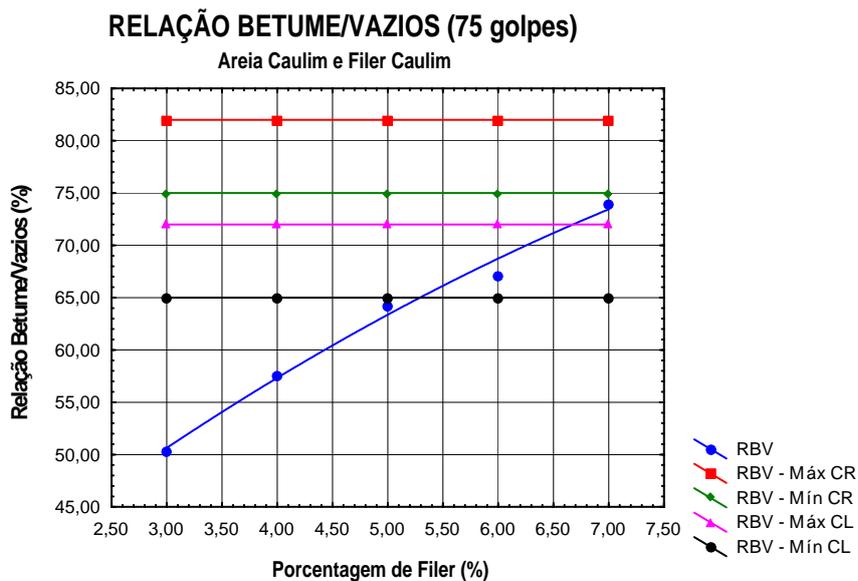


Figura 7.9– Relação betume/vazios em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]

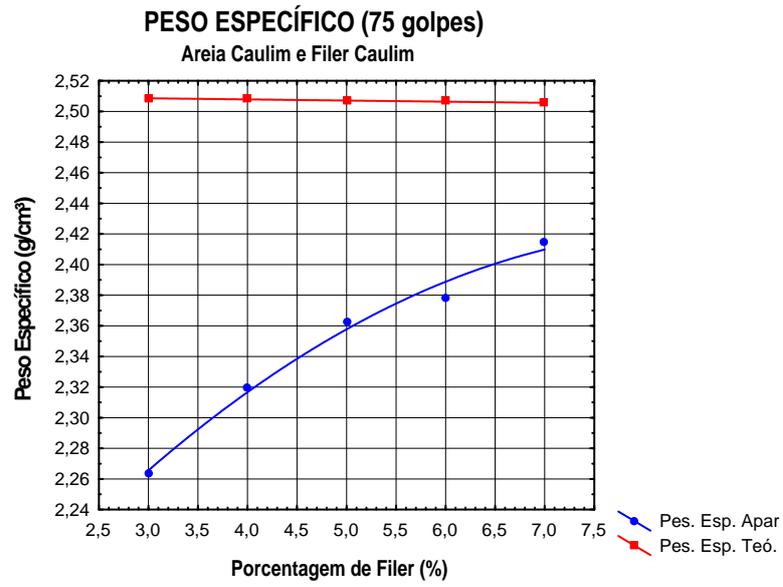


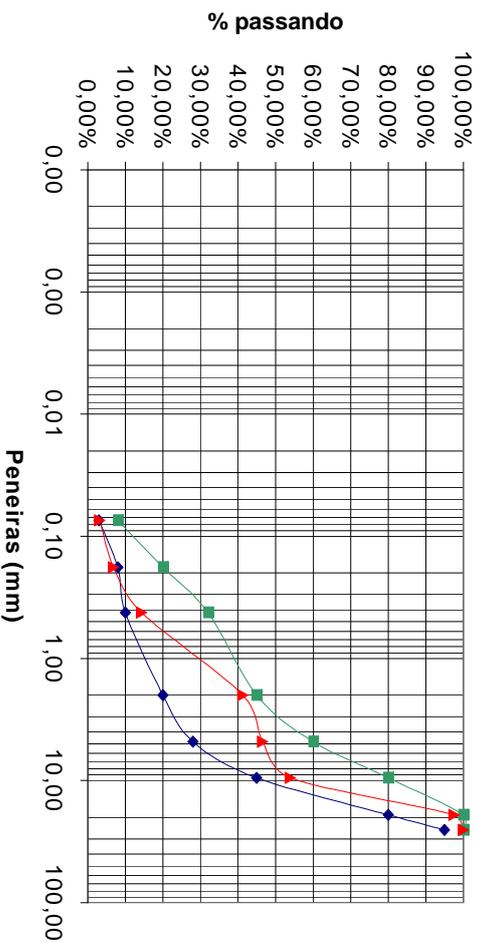
Figura 7.10 – Peso específico em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]

Quadro 7.15 – Elaboração do traço para a Serragem de Granito

Cálculos para a elaboração de traços de C.B.U.Q.

Resíduo utilizado:		SERRAGEM DE GRANITO		Operador:		Maced Wallace Queiroz Fernandes		Data:					
Percentagem do resíduo utilizado:		100,00%											
Peneira (mm)	Brita 19		Areia		Materiais Convencionais			Resíduo		Faixa B DNIT			
	Total	50,00%	Total	47,00%	Total	0,00%	Total	0,00%	S. GRANITO - #200	Resultado	Mínimo	Máximo	
76,20									Total	3,00%	100,00%		
63,50													
50,80													
38,10													
25,40	100,00%	50,00%	100,00%	47,00%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	Total	3,00%	100,00%	100,00%	
19,10	95,45%	47,73%	99,43%	46,73%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	Total	3,00%	97,46%	80,00%	100,00%
9,50	11,41%	5,71%	96,06%	45,15%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	Total	3,00%	53,85%	45,00%	80,00%
4,80	0,12%	0,06%	92,54%	43,49%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	Total	3,00%	46,55%	28,00%	60,00%
2,00	0,06%	0,03%	81,33%	38,23%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	Total	3,00%	41,26%	20,00%	45,00%
0,42	0,00%	0,00%	24,14%	11,35%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	Total	3,00%	14,35%	10,00%	32,00%
0,18	0,00%	0,00%	8,20%	3,85%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	Total	3,00%	6,85%	8,00%	20,00%
0,074	0,00%	0,00%	0,43%	0,20%	100,00%	0,00%	100,00%	0,00%	Total	3,00%	3,20%	3,00%	8,00%

Observações:



Quado 7.17 – Ensaio Marshall [4,0% de Filler Serragem de Granito]

ENSAIO MARSHALL

ATECEL - 4,0% Filler (Serragem de Granito) - 4,5% CAP - 3CP - Com e Sem Imersão *

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %		Leitura no deflectômetro	Estabilidade		Fluência		
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	RBV		Total	Lida (Kg)		Correção (tabelas)	Corrigida (Kg)
1	4,5	6,430	6,430	1187,8	673,9	513,9	2,311	2,492	10,128	82,639	7,234	17,361	58,334	7,234	6	475,44	0,98	465,93	4,76
2	4,5	6,309	6,309	1181	674,8	506,2	2,333	2,492	10,223	83,415	6,362	16,585	61,640	6,362	10	752,78	1,01	760,31	7,94
3	4,5	6,470	6,470	1182	676,7	505,3	2,339	2,492	10,250	83,635	6,116	16,365	62,631	6,116	7	594,3	0,97	576,47	5,56
M							2,33	2,49					60,87					600,90	6,09
4*	4,5	6,330	6,330	1186,3	680,1	506,2	2,344	2,492	10,269	83,790	5,942	16,210	63,347	5,942	8	673,54	1	673,54	6,35
5*	4,5	6,300	6,300	1185,1	670,6	514,5	2,303	2,492	10,093	82,355	7,553	17,645	57,198	7,553	6	832,02	1,01	840,34	4,76
6*	4,5	6,330	6,330	1186,6	681,9	504,7	2,351	2,492	10,302	84,060	5,638	15,940	64,629	5,638	9	891,45	1	891,45	7,14
M							2,33	2,49					61,72					801,78	6,09

Traco II	Densidades	%	% corrigidas	daqreg	Características	
					em de vazios, %	Método de ensaio
Brita 19	2,72	51	48,71	2,671	DNER-ME 043	3 a 5
Areia	2,618	45	42,98		DNER-ME 043	75 - 82
S. Granito	2,668	4	3,82	K marshall	DNER-ME 043	500
CAP	1,027	4,5	4,50	1,981	DNER-ME 138	0,65

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV	Características	
					em de vazios, %	Método de ensaio
1	7,234	10,128	17,361	58,334	DNER-ME 043	3 a 5
2	6,362	10,223	16,585	61,640	DNER-ME 043	75 - 82
3	6,116	10,250	16,365	62,631	DNER-ME 043	500
M	6,57	10,20	16,77	60,87	DNER-ME 138	0,65
4*	5,942	10,269	16,210	63,347	DNER-ME 043	3 a 5
5*	7,553	10,093	17,645	57,198	DNER-ME 043	75 - 82
6*	5,638	10,302	15,940	64,629	DNER-ME 043	500
M	6,38	10,22	16,60	61,72	DNER-ME 138	0,65

Traco II	% corrigidas	Composição em g	Características	
			em de vazios, %	Método de ensaio
Brita 19	48,71	584,46	DNER-ME 043	3 a 5
Areia	42,98	515,70	DNER-ME 043	75 - 82
S. Granito	3,82	45,84	DNER-ME 043	500
CAP	4,50	54,00	DNER-ME 138	0,65
Peso do corpo de prova em g			1200,00	

CP	Tração Diametral	
	RT	DEF
7	1,79	4
8	1,70	4
9*	1,56	3
10*	1,45	3

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

Quado 7.18 – Ensaio Marshall [5,0% de Filler Serragem de Granito]

ENSAIO MARSHALL

ATECEL - 5,0% Filler (Serragem de Granito) - 4,5% CAP - 3CP - Com e Sem Imersão *

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %		Leitura no defleto	Lida (Kg)	Estabilidade		Fluência 1 ^o /100	
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	RBV			Total	Correção (tabel)		Corrigida (Kg)
1	4,5	6,330	6,330	1203	689,3	513,7	2,342	2,491	10,261	83,745	5,994	16,255	63,126	5,994	4	990,37	1	990,37	3,18
2	4,5	6,363	1206	695,4	510,6	2,362	2,491	10,349	84,463	5,187	15,537	66,612	5,187	5	816,8	1	816,80	3,97	
3	4,5	6,333	1201,9	690,8	511,1	2,352	2,491	10,304	84,094	5,602	15,906	64,780	5,602	4	814,758	1	814,76	3,18	
M	4,5						2,35	2,49					64,84	5,59				873,98	3,44
4*	4,5	6,310	1205	689,1	515,9	2,336	2,491	10,234	83,526	6,239	16,474	62,126	6,239	10	1039,378	1,01	1049,77	7,94	
5*	4,5	6,347	1206,2	693,2	513	2,351	2,491	10,303	84,082	5,615	15,918	64,724	5,615	5	1082,26	1	1082,26	3,97	
6*	4,5	6,343	1180,2	691,8	488,4	2,416	2,491	10,588	86,414	2,998	13,586	77,933	2,998	9	1182,318	1	1182,32	7,14	
M	4,50	6,34	1200,38	691,8	508,78	2,37	2,49					68,26	4,95				1104,78	6,35	

Traco III	Densidades	%	%corrigidas	deqreg
Brita 19	2,72	50	47,75	2,671
Areia	2,618	45	42,98	
S. Granito	2,668	5	4,78	K marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	5,994	10,261	16,255	63,126
2	5,187	10,349	15,537	66,612
3	5,602	10,304	15,906	64,780
M	5,59	10,30	15,90	64,84
4*	6,239	10,234	16,474	62,126
5*	5,615	10,303	15,918	64,724
6*	2,998	10,588	13,586	77,933
M	4,95	10,38	15,33	68,26

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)	Resistência a Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	
				DNER-ME 043	DNER-ME 138
Porcentagem de vazios, %	DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6		
Relação betune/vazios	DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72		
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043	500	500		
				0,65	0,65

VAM - Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado	#	VAM Mínimo %
	1 1/2"	13
	1"	14
	3/4"	15
	1/2"	16
	3/8"	18

Traco III	%corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia	42,98	515,70
S. Granito	4,78	57,30
CAP	4,50	54,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Tração Diametral		
CP	RT	DEF
7	1,69	4
8	1,87	3
9*	1,42	3
10*	1,31	3

Quado 7.19 – Ensaio Marshall [6,0% de Filler Serragem de Granito]

ENSAIO MARSHALL

ATECEL - 6,0% Filler (Serragem de Granito) - 4,5% CAP - 3CP - Com e Sem Imersão *

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total		Vazios - %		Leitura no defleto metro	Estabilidade		Fluência 1 ^o /100			
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados		RBV	Total		Lida (Kg)	Correção (tabelas)	Corrigida (Kg)
1	4,5	6,240	1194,1	692	502,1	2,378	2,492	10,421	85,030	4,550	14,970	69,609	4,550	6	612,6	1,03	630,98	4,76	
2	4,5	6,250	1181,8	687,9	493,9	2,393	2,492	10,484	85,551	3,964	14,449	72,562	3,964	8	724,91	1,02	739,41	6,35	
3	4,5	6,253	1190,9	686,8	494,1	2,410	2,492	10,561	86,175	3,264	13,825	76,390	3,264	6	724,91	1,02	739,41	4,76	
M	4,5						2,39	2,49				72,85	3,93				703,26	5,29	
4*		4,5	6,237	1198	694,9	503,1	2,381	2,492	10,434	85,138	4,428	14,862	70,204	4,428	8	735,12	1,03	757,17	6,35
5*		4,5	6,270	1199,5	697,7	501,8	2,390	2,492	10,474	85,465	4,061	14,535	72,062	4,061	9	806,59	1,02	822,72	7,14
6*		4,5	6,270	1194,2	690,7	503,5	2,372	2,492	10,392	84,800	4,807	15,200	68,373	4,807	9	633,02	1,02	645,68	7,14
M	4,5		6,25	1193,08		499,75	2,38	2,49				70,21	4,43				741,86	6,88	

Traco IV	Densidades	%	% corrigidas	daqreg
Brita 19	2,72	50	47,75	2,671
Areia	2,618	44	42,02	
S. Granito	2,668	6	5,73	K marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	4,550	10,421	14,970	69,609
2	3,964	10,484	14,449	72,562
3	3,264	10,561	13,825	76,390
M	3,93	10,49	14,41	72,85
4*	4,428	10,434	14,862	70,204
5*	4,061	10,474	14,535	72,062
6*	4,807	10,392	15,200	68,373
M	4,43	10,43	14,87	70,21

Características	Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Blinder)	Porcentagem de vazios, %	
				Relação betume/vazios	Estabilidade, milhina, (Kgf) (75 golpes)
				DNER-ME 043	3 a 5
				DNER-ME 043	65 – 72
				DNER-ME 043	500
				DNER-ME 138	0,65
					0,65

VAM – Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado	#	VAM Mínimo %
1½"	38,1	13
1"	25,4	14
¾"	19,1	15
½"	12,7	16
3/8"	9,5	18

Traco IV	% corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia	42,02	504,24
S. Granito	5,73	68,76
CAP	4,50	54,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Tração Diametral		
CP	RT	DEF
7	1,54	3
8	1,60	4
9*	1,24	3
10*	1,44	3

Quadro 7.20 – Ensaio Marshall [7,0% de Filler Serragem de Granito]

ENSAIO MARSHALL

ATECEL - 7,0% Filler (Serragem de Granito) - 4,5% CAP - 3CP - Com e Sem Imersão*

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total		Vazios - %		Leitura no deflectômetro	Estabilidade		Fluência 1 ^o /100		
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados		RBV	Total		Lida (Kg)	Correção (tabelas)
1	4,5	6,140	6,140	120,4	707,6	496,4	2,425	2,492	10,628	86,703	2,670	13,297	79,924	2,670	612,6	1,05	643,23	7,94
2	4,5	6,690	6,690	1203,8	706,2	497,6	2,419	2,492	10,600	86,479	2,920	13,521	78,400	2,920	643,23	0,92	591,77	6,35
3	4,5	6,160	6,160	1203,8	709,1	494,7	2,433	2,492	10,662	86,986	2,351	13,014	81,932	2,351	633,02	1,05	664,67	6,35
M	4,5						2,43	2,49					80,09				633,22	6,88
4*	4,5	6,190	6,190	1208,4	702,6	505,8	2,389	2,492	10,468	85,402	4,129	14,598	71,712	4,129	755,54	1,04	785,76	7,14
5*	4,5	6,150	6,150	1208,9	701,6	507,3	2,383	2,492	10,442	85,185	4,373	14,815	70,480	4,373	837,22	1,04	870,71	7,94
6*	4,5	6,110	6,110	1204,6	709,7	494,9	2,434	2,492	10,665	87,009	2,326	12,991	82,096	2,326	878,06	1,06	930,74	7,14
M	4,5					499,45	2,40	2,49					74,76				862,40	7,41

Traco V	Densidades	%	%corrigidas	dagreg
Brita 19	2,72	50	47,75	2,672
Areia	2,618	43	41,07	
S. Granito	2,668	7	6,69	K marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	2,670	10,628	13,297	79,924
2	2,920	10,600	13,521	78,400
3	2,351	10,662	13,014	81,932
M	2,65	10,63	13,28	80,09
4*	4,129	10,468	14,598	71,712
5*	4,373	10,442	14,815	70,480
6*	2,326	10,665	12,991	82,096
M	3,61	10,53	14,13	74,76

Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)	Vazios, %	
			VCB	VAM
DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6	75 - 82	65 - 72
DNER-ME 043	500	500		
DNER-ME 138	0,65	0,65		

VAM - Vazios do Agregado Mineral			
Tamanho Nominal Máximo do agregado	#	m m	VAM Mínimo
			%
1½"		38,1	13
1"		25,4	14
¾"		19,1	15
1/2"		12,7	16
3/8"		9,5	18

Traco V	%corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia	41,07	492,78
S. Granito	6,69	80,22
CAP	4,50	54,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Traco Diametral			
CP	RT	DEF	
7	1,67	3	
8	1,57	2	
9*	1,24	2	
10*	1,25	4	

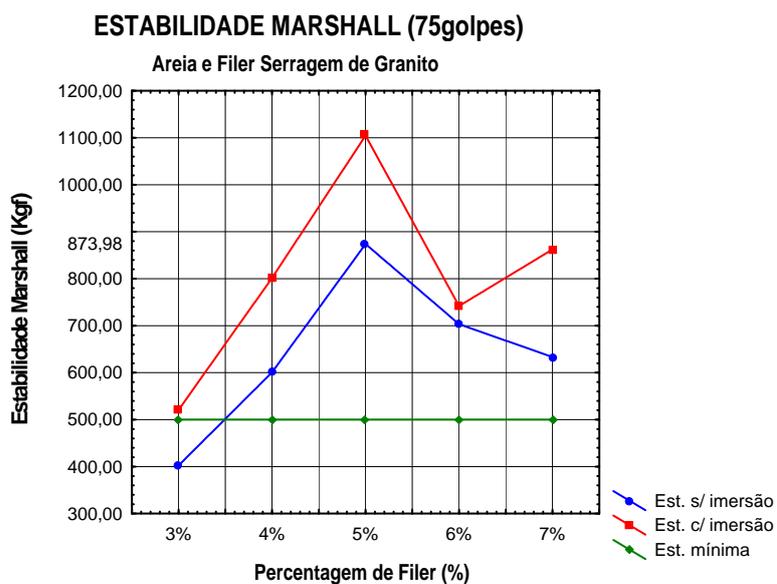


Figura 7.11 – Estabilidade em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%]

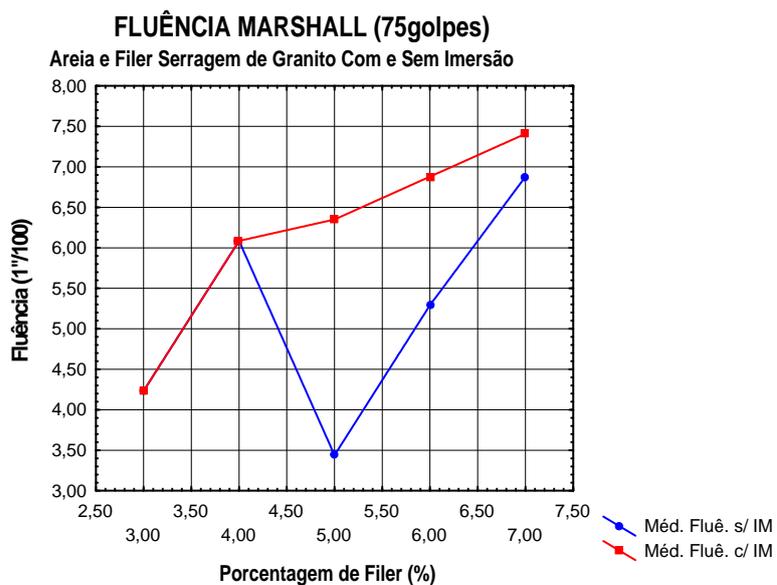


Figura 7.12 – Fluência em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%]

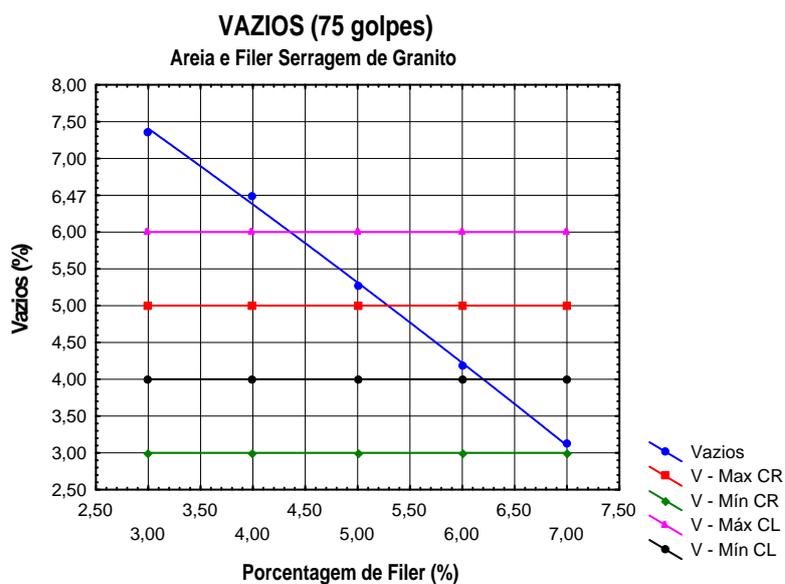


Figura 7.13 – Vazios em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%]

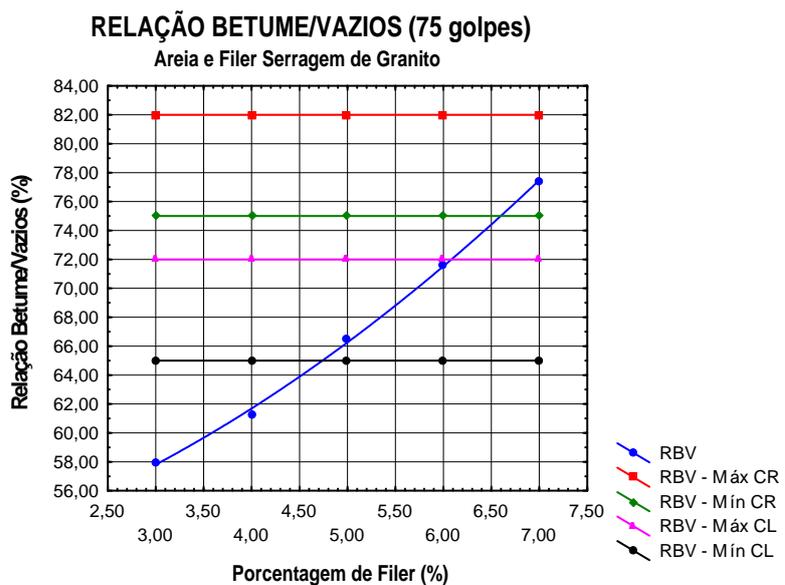


Figura 7.14 – Relação betume/vazios em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%]

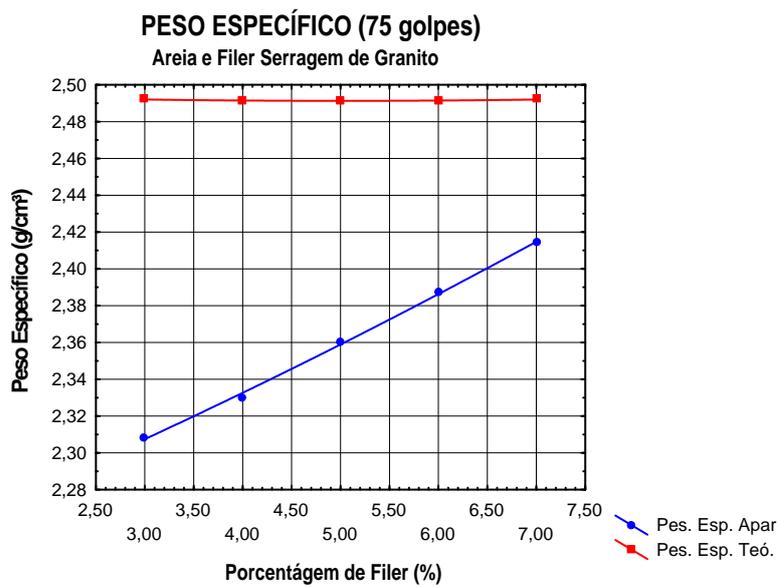


Figura 7.15 – Peso específico em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%]

7.3 - ANEXO C

7.3.1 - Ensaio com o Auxílio do Pórtico de Lottman

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos experimentos realizados com o auxílio do pórtico de *Lottman*.

Quadro 7.21 – Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [5,0% de Filer Caulim]

ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL - LOTTMAN
ATECEL - 5,0% Filler (Caulim) - 4,5% CAP - 3CP - RT1 e RT2*

CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Leitura no defeleômetro	LOTTMAN		Fluência 1 ^o /100			
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios		Agregados	RBV		Total	Copo de Prova	RT1
1	4,5	6,880	6,880	11,86,8	679,8	507	2,341	2,515	10,257	82,799	6,944	17,201	59,630	6,944	5	1	1,17	3,97
2	4,5	6,550	6,550	11,87,1	685,8	501,3	2,368	2,515	10,376	83,762	5,862	16,238	63,900	5,862	5	2	1,27	3,97
3	4,5	6,570	6,570	11,93,2	688,4	504,8	2,364	2,515	10,357	83,609	6,034	16,391	63,186	6,034	4	3	1,31	3,18
M	4,5						2,36	2,52					62,24	6,28			1,25	
4*	4,5	6,610	6,610	11,92,4	692,2	500,2	2,384	2,515	10,445	84,321	5,234	15,679	66,620	5,234	5	4*	0,99	3,97
5*	4,5	6,590	6,590	11,93,8	691,8	502	2,378	2,515	10,420	84,117	5,463	15,883	65,606	5,463	5	5*	1,07	3,97
6*	4,5	6,570	6,570	11,97,4	689,5	507,9	2,358	2,515	10,330	83,391	6,279	16,609	62,195	6,279	5	6*	1,13	3,97
M	4,5	6,60	6,60	11,91,78		503,87	2,37	2,52					64,81	5,66			1,06	

Trapo III	Densidades	%	%corrigidas	degrég
Brita 19	2,72	50	47,75	2,700
Areia Caulim	2,669	45	42,98	
Caulim	2,784	5	4,78	K marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042

CP	Vazios	VCB	VAM	RBV
1	6,944	10,257	17,201	59,630
2	5,862	10,376	16,238	63,900
3	6,034	10,357	16,391	63,186
M	6,28	10,33	16,61	62,24
4	5,234	10,445	15,679	66,620
5	5,463	10,420	15,883	66,606
6	6,279	10,330	16,609	62,195
M	5,66	10,40	16,06	64,81

Trapo III	%corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia Caulim	42,98	515,70
Caulim	4,78	57,30
CAP	4,50	54,00
Peso do copo de prova em g		1200,00

Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPA	DNER-ME 138	Camada de Ligação (Binder)
	138	4 a 6
	82	65 - 72
	5	500
	5	0,65

Características	Método de ensaio	Tamanho Nominal	VAM	VAM Mínimo %
Porcentagem de vazios, %	DNER-ME 043	1 1/2"	13	13
Relação betume/vazios	DNER-ME 043	3/8"	14	14
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043	1 1/2"	15	15
		1"	16	16
		3/4"	18	18

Tração Diametral		
CP	RT	DEF
7	1,07	4
8	1,06	3
9*	0,66	5
10*	0,81	4

Quadro 7.22 – Ensaio com o auxílio do pórtilho de Lotman [6,0% de Filer Caulim]

Por peso de agregado	Por peso de mistura (cm)	No ar (g)	Na água (g)	(cm ³)	Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Leitura no deflecionômetro	Copo de Prova	Fluência
1	6,430	1193,2	692,7	500,5	2,384	2,515	4	1	3,18
2	6,470	1191	691,8	499,2	2,386	2,515	6	2	4,76
3	6,467	1198,1	693,8	504,3	2,376	2,515	6	3	4,76
M	4,5				2,38	2,52			1,35
4*	4,5	6,392	1197	696,6	2,392	2,515	5	4*	3,97
5*	4,5	6,480	1197,7	695,7	2,386	2,515	5	5*	3,97
6*	4,5	6,440	1192,1	694	2,393	2,515	4	6*	3,18
M	4,5	6,45	1194,85	500,75	2,39	2,52			1,17
Treço IV	Densidades	%	%corrigidas	dagreg					
Brita 19	2,72	50	47,75	2,701					
Areia Caulim	2,669	44	42,02						
Caulim	2,784	6	5,73	K marshall					
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042					
CP	Vazios	VCB	VAM	RBV					
1	5,227	10,446	15,673	66,650					
2	5,155	10,454	15,609	66,973					
3	5,555	10,410	15,965	65,206					
M	5,31	10,44	15,75	66,28					
4	4,906	10,481	15,388	68,116					
5	5,154	10,454	15,608	66,980					
6	4,858	10,487	15,345	68,340					
M	4,97	10,47	15,14662 6326 TF (4)TJ 0 0,05346 0,05346 0 2804 2955 10579357898 Tm (4)TJ 0 0,05346 0,05346 0 2453 2955 105794						

87,03

Quadro 7.23 – Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [7,0% de Filer Caulim]

ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL - LOTTMAN																				
ATECEL - 7,0% Filler (Caulim) - 4,5% CAP - 3CP - RT1 e RT2*																				
CP	% de ligante na mistura			Altura (cm)	Peso			Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Lectura no deflecionista	Filância					
	Por peso de agregado	Por peso de mistura			No ar (g)	Na água (g)			Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios			Agregados	RBV	Total		
1	4,5	6,480		1191,5	698,7		492,8	2,418	2,515	10,594	85,523	3,883	14,477	73,177	3,883	5	1	1,28		3,97
2	4,5	6,410		1188,2	697,8		490,4	2,423	2,515	10,616	85,703	3,680	14,297	74,258	3,680	3	2	1,36		2,38
3	4,5	6,430		1193,1	699,8		493,3	2,419	2,515	10,598	85,551	3,852	14,449	73,343	3,852	3	3	1,23		2,38
M	4,5							2,42	2,52					73,59	3,81			1,29		
4*	4,5	6,410		1186,4	696,6		489,8	2,422	2,515	10,613	85,678	3,708	14,322	74,106	3,708	4	4*		1,04	3,18
5*	4,5	6,430		1193,7	698,7		495	2,412	2,515	10,567	85,300	4,134	14,700	71,880	4,134	4	5*		1,18	3,18
6*	4,5	6,390		1191,1	699		492,1	2,420	2,515	10,606	85,616	3,779	14,384	73,730	3,779	3	6*		1,14	2,38
M	4,5			1190,67			492,23	2,42	2,52					73,24	3,87				1,12	

Traço V	Densidades	%	%corrigidas	degieg	Características			Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)	VAM - Vazios do Agregado Mineral		
					Brita 19	Areia Caulim	Caullim				#	Tamanho Nominal Máximo do agregado	VAM Mínimo %
Brita 19	2,72	50	47,75	2,702							1 1/2"	38,1	13
Areia Caulim	2,669	43	41,07								1"	25,4	14
Caullim	2,784	7	6,69	K marshall							3/4"	19,1	15
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042							1/2"	12,7	16
CP	Vazios	VCB	VAM	RBV							3/8"	9,5	18
1	3,883	10,594	14,477	73,177									
2	3,680	10,616	14,297	74,258									
3	3,852	10,598	14,449	73,343									
M	3,81	10,60	14,41	73,59									
4	3,708	10,613	14,322	74,106									
5	4,134	10,567	14,700	71,880									
6	3,779	10,606	14,384	73,730									
M	3,87	10,60	14,47	73,24									

Tração Diametral			
CP	RT	DEF	
7	1,30	3	
8	1,74	2	
9*	1,33	3	
10*	1,83	4	

Traço V			
%corrigidas	Composição em g		
Brita 19	47,75	573,00	
Areia Caulim	41,07	492,78	
Caullim	6,69	80,22	
CAP	4,50	54,00	
Peso do corpo de prova em g		1200,00	

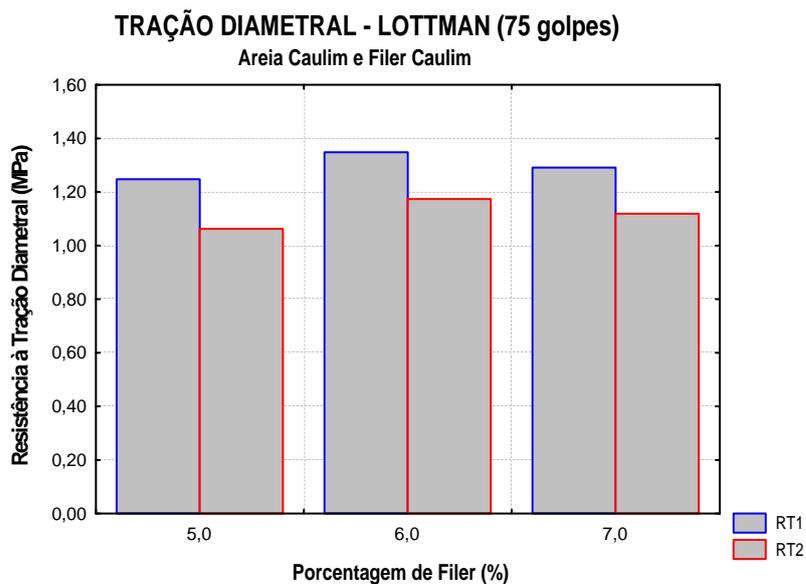


Figura 7.16 – Resistência à tração em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]

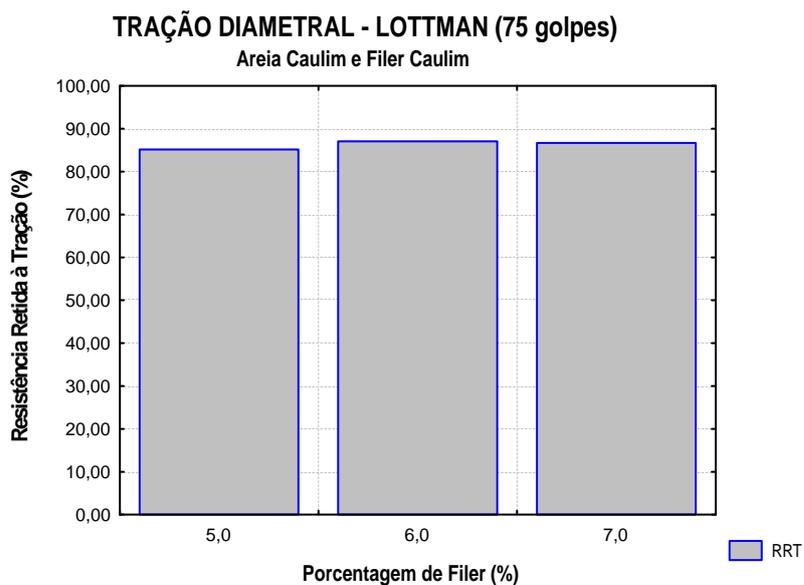


Figura 7.17 – Resistência retida à tração em função do percentual de filer Caulim [CAP 4,5%]

Quadro 7.24 – Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [5,0% de Filer Serragem de Granito]

ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL - LOTTOMAN																				
ATECEL - 5,0% Filler (Serragem de Granito) - 4,5% CAP - 3CP - RT1 e RT2*																				
CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %		Letura no defelectómetro	Corpo de Prova	LOTTOMAN			Fluência 1"/100	
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	REV			Total	RT1	RT2		RRT
1	4,5	6,340	6,340	1193,8	689,8	504	2,369	2,495	10,379	84,551	5,071	15,449	67,179	5,071	4	1	1,47		3,18	
2	4,5	6,350	6,350	1192,1	687,8	504,3	2,364	2,495	10,358	84,380	5,262	15,620	66,311	5,282	3	2	1,59		2,38	
3	4,5	6,470	6,470	1194,2	683,4	510,8	2,338	2,495	10,244	83,453	6,303	16,547	61,909	6,303	3	3	1,52		2,38	
M	4,5						2,36	2,50					65,13	5,55			1,53			
4*	4,5	6,380	6,380	1192,4	693,2	499,2	2,389	2,495	10,466	85,264	4,270	14,736	71,023	4,270	3	4*		1,18	2,38	
5*	4,5	6,410	6,410	1193,8	689,8	504	2,369	2,495	10,379	84,551	5,071	15,449	67,179	5,071	5	5*		1,26	3,97	
6*	4,5	6,370	6,370	1197,4	695,5	501,9	2,386	2,495	10,454	85,161	4,386	14,839	70,444	4,386	3	6*		1,33	2,38	
M	4,5	6,39		1193,95		504,03	2,38	2,50					69,55	4,58						1,26

Traco III	Densidades	%	% corrigidas	deqreg
Brita 19	2,72	50	47,75	2,675
Areia	2,618	45	42,98	
S. Granito	2,768	5	4,78	K Marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042

CP	Vazios	VCB	VAM	REV
1	5,071	10,379	15,449	67,179
2	5,262	10,358	15,620	66,311
3	6,303	10,244	16,547	61,909
M	5,55	10,33	15,87	65,13
4	4,270	10,466	14,736	71,023
5	5,071	10,379	15,449	67,179
6	4,386	10,454	14,839	70,444
M	4,58	10,43	15,01	69,55

Características		Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
Porcentagem de vazios, %		DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios		DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)		DNER-ME 043	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, milhina, MPa		DNER-ME 138	0,65	0,65

VAM - Vazios do Agregado Mineral			
Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo %	
#	m m		
1½"	38,1	13	
1"	25,4	14	
¾"	19,1	15	
½"	12,7	16	
3/8"	9,5	18	

Tração Diametral			
CP	RT	DEF	
	7	2,81	4
	8	2,61	3
	9*	1,62	3
	10*	1,51	3

Traco III	% corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia	42,98	515,70
S. Granito	4,78	57,30
CAP	4,50	54,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Quadro 7.25 – Ensaio com o auxílio do pórtilo de Lotzmann [6,0% de Filer Serragem de Granito]

Por peso de agregado	Por peso de mistura	(cm)	No ar (g)	Na água (g)	(cm ³)	Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Vazios	VCB	VAM	RBV	Lectura no defleto	Corpo de Prova	Fluência			
															%	% corrigidas	degreç
1	4,5	6,340	1194,5	692,7	501,8	2,380	2,495	10,430	84,971	4,598	15,029	69,402	4,598	3	1	1,37	2,38
2	4,5	6,350	1195,1	691,8	503,3	2,375	2,495	10,404	84,761	4,835	15,239	68,273	4,835	3	2	1,21	2,38
3	4,5	6,253	1189,1	693,8	495,3	2,401	2,495	10,519	85,697	3,783	14,303	73,548	3,783	5	3	1,19	3,97
M	4,5					2,39	2,50					70,41	4,41			1,26	
4*	4,5	6,330	1195,3	696,6	498,7	2,397	2,495	10,502	85,557	3,941	14,443	72,713	3,941	5	4*	0,82	3,97
5*	4,5	6,370	1197,7	695,7	502	2,386	2,495	10,454	85,165	4,381	14,835	70,469	4,381	3	5*	0,89	2,38
6*	4,5	6,270	1188,1	694	494,1	2,405	2,495	10,536	85,833	3,631	14,167	74,371	3,631	3	6*	0,82	2,38
M	4,5		1193,30		499,20	2,40	2,50					72,52	3,98			0,84	
Traco IV	Densidades	%	% corrigidas	degreç													
Brita 19	2,72	50	47,75	2,677													
Areia	2,618	44	42,02														
S. Granito	2,768	6	5,73	K Marshall													
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042													
CP	Vazios	VCB	VAM	RBV													
1	4,598	10,430	15,029	69,402													
2	4,835	10,404	15,239	68,273													
3	3,783	10,519	14,303	73,548													
M	4,41	10,45	14,86	70,41													
4	3,941	10,502	14,443	72,713													
5	4,381	10,454	14,04 2680 Tm (1) T/ 0,05346 0,937 Tm (2) T/ F-1 2048 TT 0,05346 0,05343														
	783	43															

67,05

Quadro 7.26 – Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman [7,0% de Filer Serragem de Granito]

ENSAIO DE TRAÇÃO DIAMETRAL - LOTTOMAN																		
ATECEL - 7,0% Filler (Serragem de Granito) - 4,5% CAP - 3CP - RT1 e RT2*																		
CP	% de ligante na mistura		Altura (cm)	Peso		Volume (cm ³)	Peso específico		Volume - % total			Vazios - %		Letura no defelectómetro	Corpo de Prova	LOTTOMAN		Fluência 1"/100
	Por peso de agregado	Por peso de mistura		No ar (g)	Na água (g)		Aparente (g/cm ³)	Teórico (g/cm ³)	Ligante	Agregados	Vazios	Agregados	REV			Total	RT1	
1	4,5	6,340	6,340	1194,1	697,6	496,5	2,405	2,495	10,538	85,849	3,612	14,151	74,472	3,612	5	1	1,48	3,97
2	4,5	6,390	6,390	1193,8	696,2	497,6	2,399	2,495	10,512	85,638	3,850	14,362	73,195	3,850	3	2	1,56	2,38
3	4,5	6,290	6,290	1193,8	699,1	494,7	2,413	2,495	10,574	86,140	3,286	13,860	76,291	3,286	3	3	1,63	2,38
M	4,5						2,41	2,50					74,65	3,58			1,56	
4*	4,5	6,390	6,390	1198,4	702,6	495,8	2,417	2,495	10,591	86,280	3,129	13,720	77,196	3,129	4	4*		0,84
5*	4,5	6,360	6,360	1198,8	701,6	497,2	2,411	2,495	10,565	86,066	3,369	13,934	75,820	3,369	4	5*		0,98
6*	4,5	6,410	6,410	1194,3	699,7	494,6	2,415	2,495	10,580	86,194	3,226	13,806	76,635	3,226	3	6*		0,94
M	4,5					496,07	2,41	2,50					76,55	3,24				0,92

Trago V	Densidades	%	% corrigidas	deqreg
Brita 19	2,72	50	47,75	2,678
Areia	2,618	43	41,07	
S. Granito	2,768	7	6,69	K Marshall
CAP	1,027	4,5	4,50	2,042

CP	Vazios	VCB	VAM	REV
1	3,612	10,538	14,151	74,472
2	3,850	10,512	14,362	73,195
3	3,286	10,574	13,860	76,291
M	3,58	10,54	14,12	74,65
4	3,129	10,591	13,720	77,196
5	3,369	10,565	13,934	75,820
6	3,226	10,580	13,806	76,635
M	3,24	10,58	13,82	76,55

Trago V	% corrigidas	Composição em g
Brita 19	47,75	573,00
Areia	41,07	492,78
S. Granito	6,69	80,22
CAP	4,50	54,00
Peso do corpo de prova em g		1200,00

Características				Método de ensaio	Camada de Rolamento	Camada de Ligação (Binder)
Porcentagem de vazios, %				DNER-ME 043	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios				DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)				DNER-ME 043	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa				DNER-ME 138	0,65	0,65

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

Tração Diametral			
CP	RT	DEF	
	7	1,67	3
	8	1,57	2
	9*	1,45	2
	10*	1,67	4

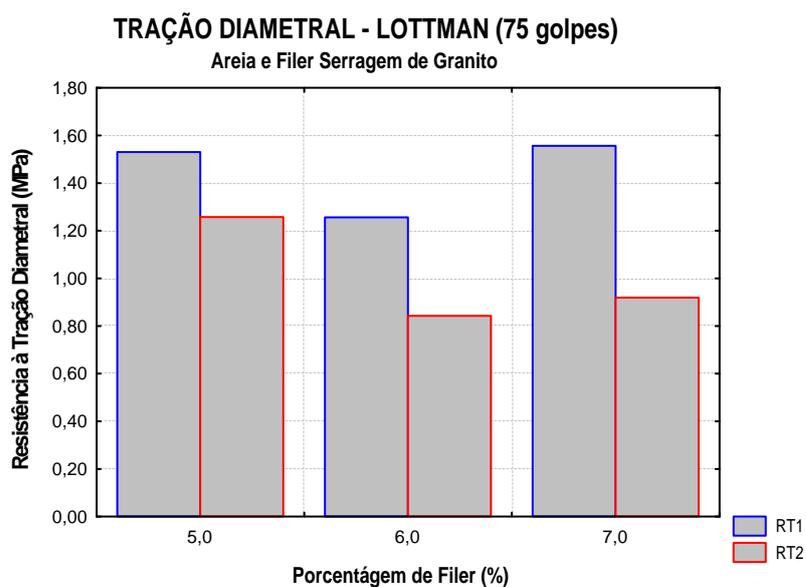


Figura 7.18 – Resistência à tração em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%]

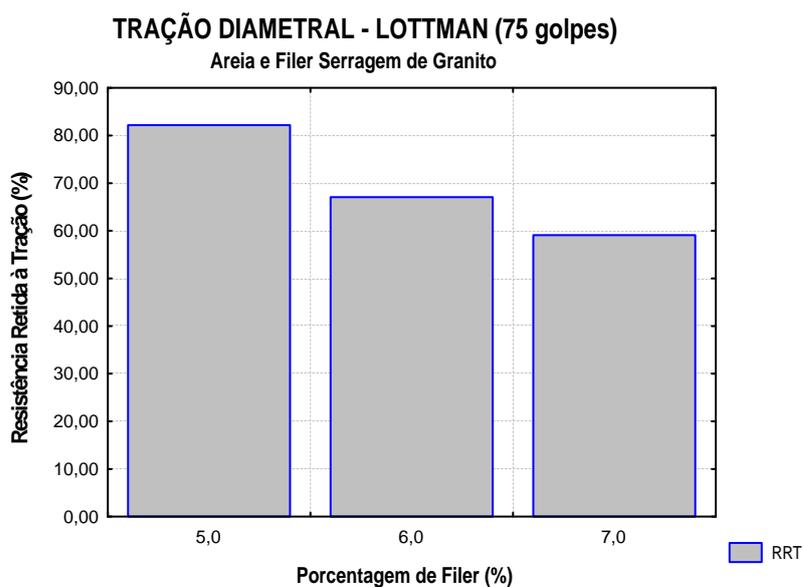


Figura 7.19 – Resistência retida à tração em função do percentual de filer Serragem de Granito [CAP 4,5%]

7.4 - ANEXO D

7.4.1 - Ensaio de Sedimentação

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes do ensaio de sedimentação com o hexametáfosfato.

Quadro 7.27 - Ensaio de sedimentação do filer resíduo do caulim

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
UFCG - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº: 01	
FILER: RESÍDUO DO CAULIM								
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA		
Cap .	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h %	%Pedregulho > 4.8:	
AL-02	65,12	64,71	13,94	50,77	0,41	0,81	%Areia grossa:4.8 a 0.84	
AL-31	61,88	61,51	14,25	47,26	0,37	0,78	%Areia media:0.84 a 0,25	
DADOS				média:		0,80	%Areia fina:0,25 a 0,05	
Mt - Massa da Amostra Seca ao Ar						1000	% Silte+Argila:< 0,05	
Ms - Massa Total da Amostra Seca						992,11	Total:	
Mg - Massa do Material Seco, Retido na # 2.0 mm						0,00	Retido entre 2.0 e 0.074	
Mh - Massa Úmida do material para peneiramento fino ou sedimentação						30	Argila < 0.005	
							hig mat. pas. na # 2,00 mm:	0,80
N: % do mat. que passa na # de 2,00 mm			100,00		Massa Específica dos Grãos do Solo:			2,543

GRANULOMETRIA

PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL				PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL					
# (mm)	Material Retido		(Qg) - % passa da amostra total Qg	# (mm)	Material Retido		(Qf) - % passa da amostra total		
	Massa (g)	Mi (g)			Massa(g)	Mi (g)			
50	0,00	0,00	100,00	1,2	0,00	0,00	100,00		
38	0,00	0,00	100,00	0,6	0,00	0,00	100,00		
25,4	0,00	0,00	100,00	0,42	0,00	0,00	100,00		
19,1	0,00	0,00	100,00	0,25	0,00	0,00	100,00		
9,5	0,00	0,00	100,00	0,15	0,00	0,00	100,00		
4,8	0,00	0,00	100,00	0,074	0,00	0,00	100,00		
2	0,00	0,00	100,00						
Lavar na # 2,0 mm		Sedimentação :		100.0 g	100.0 g	Lavar na # 0,074 mm			
Cáp.Nº:	6	Prov. Nº:	1	Cáp.Nº:	5-04	Dens. Nº:	0995	Cáp.Nº:	AP-01

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	T (°C)	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (Qs)	h
22/05/06	07:50:30	0,50	1,018	26	1,0018	15,2	0,073	89,70	8,92
22/05/06	07:51:00	1,00	1,017	26	1,0018	15,4	0,052	84,17	8,92
22/05/06	07:52:00	2,00	1,017	26	1,0018	15,4	0,037	84,17	8,92
22/05/06	07:54:00	4,00	1,017	26	1,0018	14,8	0,025	84,17	8,92
22/05/06	07:58:00	8,00	1,017	26	1,0018	14,8	0,018	84,17	8,92
22/05/06	08:05:00	15,00	1,016	26	1,0018	15	0,013	78,63	8,92
22/05/06	08:20:00	30,00	1,015	26	1,0018	15,2	0,009	73,09	8,92
22/05/06	08:50:00	60,00	1,013	26	1,0018	15,8	0,007	62,02	8,92
22/05/06	09:50:00	120,00	1,011	26	1,0018	16,1	0,005	50,94	8,92
22/05/06	11:50:00	240,00	1,008	26	1,0018	16,9	0,003	34,33	8,92
22/05/06	13:50:00	480,00	1,006	28	1,0014	17,3	0,002	25,47	8,52
23/05/06	07:50:30	1440,00	1,004	26	1,0018	17,8	0,001	12,18	8,92

Quadro 7.28 - Ensaio de sedimentação do filer Serragem de Granito

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
UFCG - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº 02	
FILER: SERRAGEM DE GRANITO								
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA		
Cap .	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h %	%Pedregulho > 4.8:	
AL-07	41,41	41,34	14,64	26,70	0,07	0,26	%Areia grossa: 4.8 a 0.84	
AL-32	42,75	42,68	14,21	28,47	0,07	0,25	%Areia media: 0,84 a 0,25	
DADOS				média:		0,25	%Areia fina: 0,25 a 0,05	
Mt - Massa da Amostra Seca ao Ar						1000	% Silte+Argila:< 0,05	
Ms - Massa Total da Amostra Seca						997,47	Total:	
Mg - Massa do Material Seco, Retido na # 2.0 mm						0,00	Retido entre 2.0 e 0.074 Argila < 0.005	

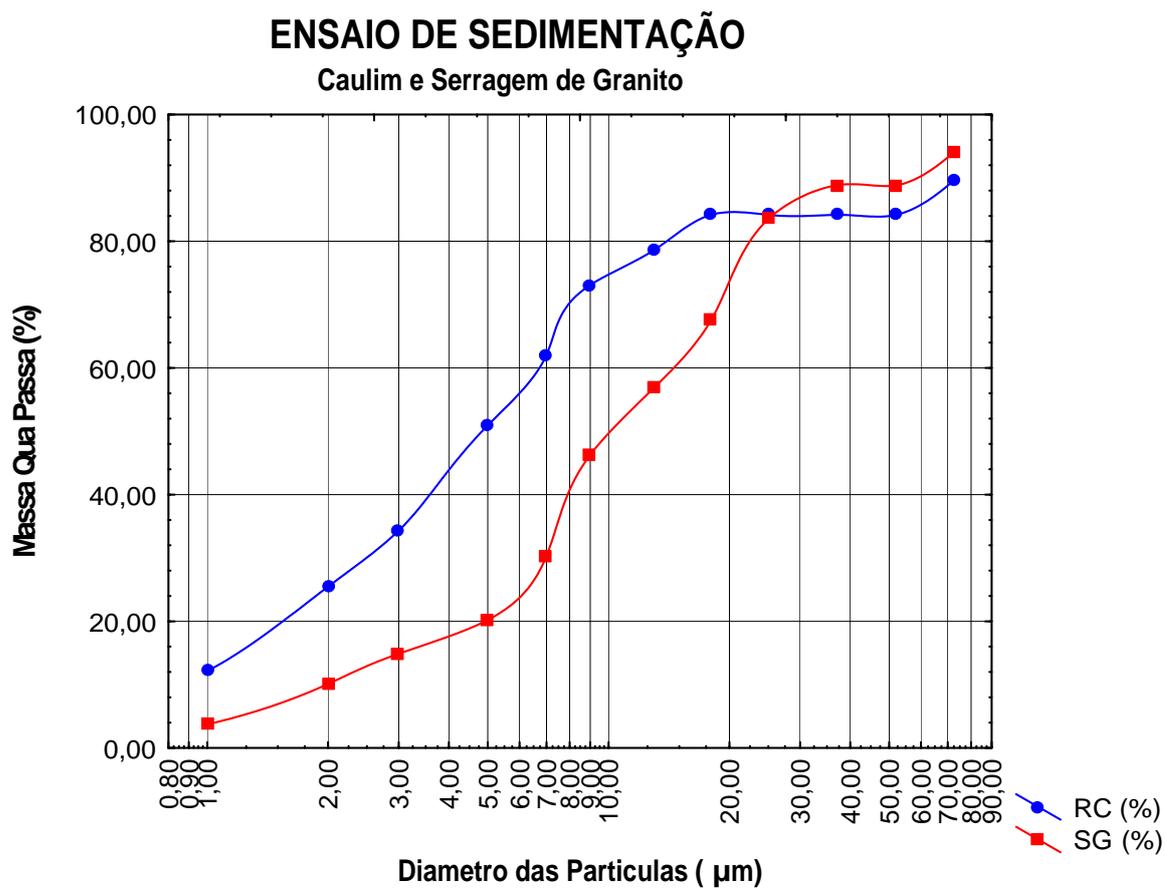


Figura 7.20 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos fileres obtidas por sedimentação

7.5 - ANEXO E

7.5.1 - Distribuição dos Tamanhos das Partículas por Difração à Laser

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos ensaios com o analisador de partículas por difração à laser.



DISTRIBUIÇÃO DE TAMAHO DE PARTÍCULAS

CILAS 1000

File: 2017-01-10 10:00:00



Ref. Da Amostra : R. Caulim
Type Produit : Argila
Client : UFCG
Comentário : Macel Wallace
Líquido : Água
Agente Dispersante : Nenhum
Operador : Heber
Empresa : UFCG
Localização : Campina Grande
Índice Médio :

Ref. Da Amostra : S. Granito
Type Produit : Argila
Client : UFCG
Comentário : Macel Wallace
Líquido : Água
Agente Dispersante : Nenhum
Operador : Heber
Empresa : UFCG
Localização : Campina Grande
Índice Médio :

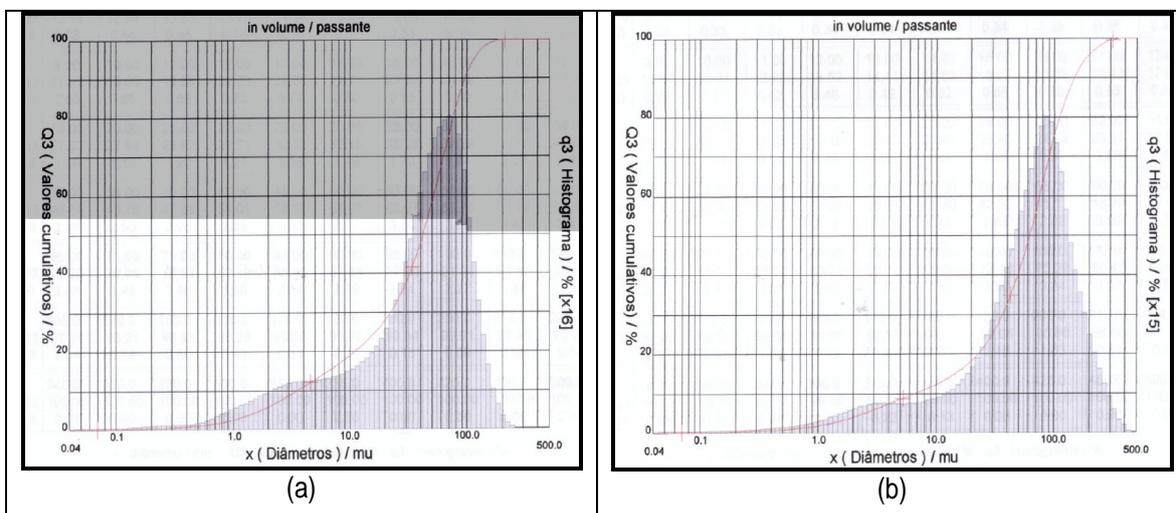


Figura 7.21 – Distribuição dos tamanhos das partículas do obtida por difração à laser
[(a) resíduo do Caulim (b) serragem de granito]

7.6 - ANEXO F

7.6.1 - Espectrofotometria por Absorção Atômica

Constam os resultantes dos ensaios de análise química por espectrofotometria por absorção atômica.



Laboratório de Biotecnologia do Solo

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Campus II --

-

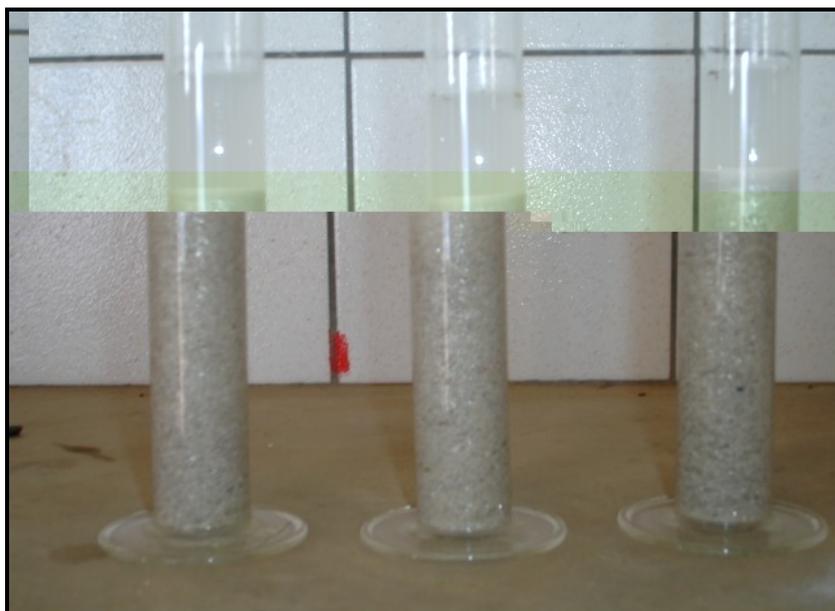
7.7 - ANEXO G

7.7.1 - Equivalente Areia do Caulim e Adesividade do Agregado Graúdo

Constam os resultantes dos ensaios de equivalente areia do Caulim e de adesividade do agregado graúdo.

Quadro 7.30 - Ensaio de equivalente areia para o resíduo do Caulim

Amostra	Amostra I	Amostra II	Amostra III
Equivalente Areia Resíduo do Caulim (%)	81,707	85,235	86,538
Equivalente Areia Médio (%)	84,50		

**Figura 7.22 – Aparelhos utilizados no ensaio de equivalente areia****Figura 7.23 – Ensaio de adesividade**

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.

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](#)