

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

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

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

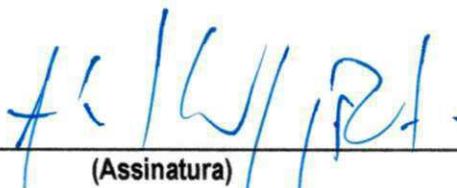
FOLHA DE APROVAÇÃO

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



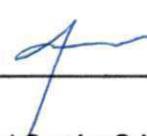
(Assinatura)

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



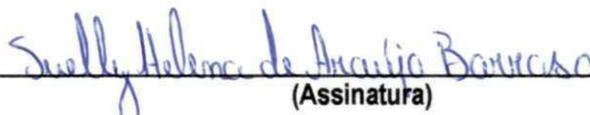
(Assinatura)

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



(Assinatura)

Profª. D.Sc. (Examinador externo) Sandra Oda
Universidade de Salvador – UNIFACS



(Assinatura)

Profª. D.Sc. (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 servi 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 mastique 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 do 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 termodiferencial e 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.