



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

**ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO COM ORIGEM
NO PROCESSAMENTO DO CAULIM COMO FILLER EM
MISTURAS ASFÁLTICAS**

PEDRO NOGUEIRA DE SOUZA NETO

CAMPINA GRANDE

DEZEMBRO/2005

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

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO COM ORIGEM
NO PROCECSSAMENTO DO CAULIM COMO FILLER EM MISTURAS ASFÁLTICAS

Por:

PEDRO NOGUEIRA DE SOUZA NETO

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

Dezembro de 2005

PEDRO NOGUEIRA DE SOUZA NETO

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, Dezembro de 2005



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S725e Souza Neto, Pedro Nogueira
2006 Estudo sobre a utilização do residuo com origem no processamento do caulim como filler em misturas asfálticas/ Pedro Nogueira de Souza Neto. — Campina Grande, 2006. 135f.: il.

Referências.

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

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

1-Pavimentação 2-Filler 3-Residuo do Caulim I-Título

CDU 625.85

FOLHA DE APROVAÇÃO

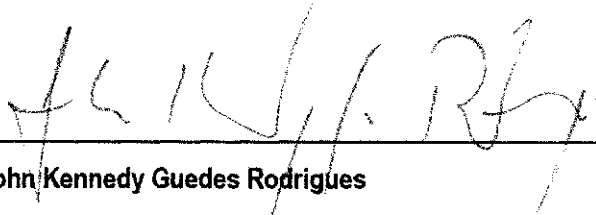
Autor: Pedro Nogueira de Souza Neto

Título: ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO COM ORIGEM NO PROCESSAMENTO DO
CAULIM COMO FILLER EM MISTURAS ASFALTICAS

Dissertação defendida e aprovada em: 16 / 12 / 2005

Banca Examinadora

(Assinatura):



Prof. Dr. (Orientador) John Kennedy Guedes Rodrigues

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEC

(Assinatura):



Prof. Dr. (Co-orientador) João Batista Queiroz de Carvalho

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEC

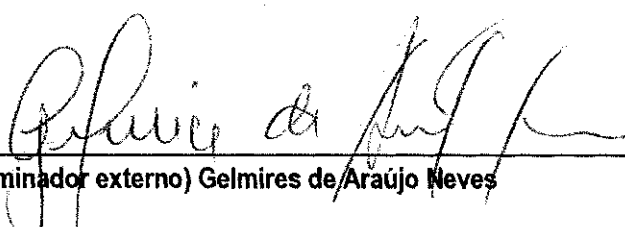
(Assinatura):



Prof. Dr. (Examinador externo) José Bernades Felex

Universidade de São Paulo – USP/EESC/STT

(Assinatura):



Prof. Dr. (Examinador externo) Gelmires de Araújo Neves

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/DEMA

DEDICATÓRIA

A Deus, pois é criador de todas as coisas e fonte de todo conhecimento.

Ao meu pai, Evanildo Nogueira de Souza.

A minha mãe, Marinalva Agra Nogueira de Souza.

Aos meus Irmãos: Everaldo, Evanildo Filho e Beatriz.

A minha esposa, Jaqueline Gonçalves Pedro.

Em especial, ao meu filho Pedro Igor Gonçalves Nogueira.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Kennedy Guedes Rodrigues pelo direcionamento e orientação deste trabalho, pelo apoio, estímulo e atenção sempre paciente nas horas mais difíceis;

Em especial a ATECEL fornecendo equipamentos e recursos para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia da UFCG e a Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental.

A CAPES pela bolsa de estudo concedida

A coordenação de Pós-Graduação em Engenharia civil e ambiental

A coordenação do Curso de Graduação em Engenharia civil

Ao Professor PhD João Batista Queiroz de Carvalho

Aos amigos: Carlos André da Silva Moraes, Marcos Lima Severino, Francisco Alves Junior, Glauber Souza Martins e outros que deram sua contribuição em particular.

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

Aos funcionários das áreas de Geotecnia e estruturas, em especial, a Rui Pereira de Oliveira, José Nivaldo Sobreira, Josenira dos Santos França e seu Chiquinho.

Aos funcionários da ATECEL, Marcos, Lelé e Mano.

E a todos que colaboram direta e indiretamente para que este trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

Nos últimos anos o beneficiamento de caulim tem produzido uma quantidade de resíduos elevada com teor de sílica na sua composição. Sabe-se que o caulim é um mineral amplamente utilizado por diversos setores industriais, cabendo destacar o de papel, que consome cerca de 47% da produção mundial, sendo 33% para revestimento ou cobertura ("coating") e 14% para carga ("filler"). Os setores das indústrias de beneficiamento do caulim vêm sendo citados como fontes de contaminação e poluição do meio ambiente. Alerta-se para a necessidade da busca de soluções, por parte do setor empresarial e da comunidade científica, destaca-se o reaproveitamento deste resíduo como material alternativo, para gerar novos produtos: Isto tem motivado representantes de várias indústrias do setor a procurarem um processo que o torne o produto utilizável e que não gere danos ao meio ambiente. Estuda-se a viabilidade de sua utilização como *filler* nos concretos asfálticos. Esta proposta de aplicação deve ser encarada como uma forma de redução de custos para os pavimentos e reaproveitamento de um material atualmente visto como sem utilidades pelas indústrias de beneficiamento do caulim. Com esse objetivo, foram realizados ensaios para caracterizações do resíduo proveniente do beneficiamento do caulim, por análise química, análise termogravimétrica, análise térmica diferencial, difração de raio-x e granulometria por sedimentação e difração a laser. Ensaio de viscosidade Saybolt-Furol e de penetração foram conduzidos para verificação da conveniência do uso desse resíduo como *filler em misturas asfálticas*. Ensaio com o pórtico de *Lottman* e com o molde *Marshall* foram realizados para verificação das influências dos filleres, cal e resíduo de caulim, sobre a susceptibilidade do concreto asfáltico à presença de água. Ambos os filleres tornam a mistura asfáltica menos susceptível a presença de água, entretanto, o resíduo do caulim proporciona uma mistura mais flexível e, portanto, com uma menor probabilidade de fissuras prematuras durante vida útil do pavimento.

Palavras Chave: Resíduo do caulim, filler, reaproveitamento, pavimentação.

ABSTRACT

Kaolin is largely used by several industries, especially the paper industry that absorbs 47% of world production of this mineral in the coating (33%) and filling (14%) phases of paper production. Kaolin processing industry sector has been considered responsible of environment contamination and pollution because it generates a great amount of silica-rich residue. Kaolin industry agents are considering mitigating this problem by finding a practical and environmental friendly use for this residue, such as filler in asphalt mixtures. This may reduce the environmental problem caused by kaolin residue and pavement costs. Thus, this residue was characterized by chemical, thermogravimetric and thermic differential analyses, as well as by X-ray and laser diffraction, and sedimentation granulometry. Penetration and Saybolt-Furol viscosity tests were also performed to evaluate the use of this residue as filler in asphalt mixtures. Lottmam portic and Marshall frame trials were run to determine the effect of kaolin residue and lime on the resistance of the asphalt mixture to the presence of water. The presence of these fillers in the asphalt mixture increased its water resistance. However, kaolin residue resulted in a more flexible mixture that probably will prevent premature cracks during pavement lifetime.

Keywords: kaolin residue, filler, reuse, paving.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 – (a) Dispersão da matéria-prima bruta em água e (b) Separação do material grosso da mistura.....	11
Figura 2.2 – Tanques de decantação para lavagem do caulim - CAULISA - SA, Br 230 - PB, km 250.....	12
Figura 2.3 – (a) Caulim prensado em forma de blocos e levado ao forno e (b) Moagem do caulim e ensacamento - CAULISA -SA, Br 230, PB, Km 250.....	13
Figura 2.4 - (a) e (b) - Resíduos do caulim lançados no meio ambiente, sem critérios de proteção ambiental, às margens da BR-230 PB, Km 250.....	14
Figura 2.5 - Viscosidade Cinemática para o CAP 70 (6 Poises) em função dos filleres, Kaolin Clay, Fuller's Earth e Limestone Dust em função da relação em volume de Filler/CAP70 [Fonte: Puzinauskas, 1983].....	26
Figura 2.6 - Relação entre a rigidez e a fração volumétrica máxima de filler.....	27
Figura 3.1 - Resíduo do caulim, material da pesquisa	30
Figura 3.2 – Equipamentos utilizados para realização do ensaio Marshall [Prensa Marshall – Molde Marshall – Conjunto para compactação manual].....	35
Figura 3.3 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de tração indireta [Bomba de vácuo - Banho Maria - Pórtico de Lottman]	38
Figura 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do caulim [que passa na #200] obtida por Sedimentação.....	42
Figura 4.2 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do caulim [que passa na #200] obtida por difração a laser.....	43
Figura 4.3 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do caulim [Borra] obtida por difração a laser	43
Figura 4.4 - Difração de Raios-x do resíduo do caulim	45
Figura 4.5 - Curvas termodiferencial e termogravimétrica do resíduo do caulim	45
Figura 4.6 - Valor da penetração em função da variação dos incrementos de percentuais dos filleres.....	47
Figura 4.7 - Viscosidade Saybolt Furol em função da variação dos incrementos dos filleres	48
Figura 4.8 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler cal [com e sem imersão/3CP]	50
Figura 4.9 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler resíduo do Caulim [com e sem imersão/3CP].....	50
Figura 4.10 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com os filleres Cal e resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP]	51
Figura 4.11 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e resíduo do caulim [com e sem imersão/1CP]	52
Figura 4.12 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler cal [com e sem imersão/3CP e 1CP].....	53
Figura 4.13 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP e 1CP].....	53
Figura 4.14 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler cal [com e sem imersão/3CP] 54	

Figura 4.15 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP].....	55
Figura 4.16 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP]	55
Figura 4.17 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e resíduo do caulim [com e sem imersão/1CP]	56
Figura 4.18 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler cal [com e sem imersão/3 CP e 1CP].....	56
Figura 4.19 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP e 1CP]	57
Figura 4.20 – Relação da Resistência à Tração para os Filleres cal e resíduo do caulim - 3CP.....	58
Figura 4.21 – Relação da Resistência à Tração para os Filleres cal e resíduo do caulim - 1CP.....	59
Figura 4.22 – Relação da Resistência à Tração para os Filleres cal e resíduo do caulim [3CP e 1CP].....	60
Figura 4.23 – Pórtico de Lottman e molde Marshall com os respectivos corpos-de-prova rompidos.....	60
Figura 7.1 – Estabilidade em função do teor de asfalto [filler cal 2%].....	71
Figura 7.2 – Fluência em função do teor de asfalto [filler cal 2%]	71
Figura 7.3 – Vazios em função do teor de asfalto [filler cal 2%].....	72
Figura 7.4 – Relação betume vazios em função do teor de asfalto [filler cal 2%]	72
Figura 7.5 – Massa específica em função do teor de asfalto [filler cal 2%].....	73
Figura 7.6 - Estabilidade em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]	91
Figura 7.7 - Fluência em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]	91
Figura 7.8 - Vazios em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]	92
Figura 7.9 - Relação betume vazios em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]	92
Figura 7.10 - Massa específica em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]	93
Figura 7.11 - Estabilidade em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão]	93
Figura 7.12 - Fluência em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão].....	94
Figura 7.13 - Vazios em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão].....	94
Figura 7.14 - Relação betume vazios em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão].....	95
Figura 7.15 - Massa específica em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão].....	95
Figura 7.16 - Estabilidade em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão].....	96
Figura 7.17 - Fluência em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão]	96
Figura 7.18 - Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão].....	97
Figura 7.19 - Relação betume vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão]	97
Figura 7.20 - Massa específica em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão].....	98

Figura 7.21 - Estabilidade em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]	98
Figura 7.22 - Fluência em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]	99
Figura 7.23 - Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]	99
Figura 7.24 - Relação betume vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]	100
Figura 7.25 - Massa específica em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]	100
Figura 7.26 - Estabilidade em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]	101
Figura 7.27 - Fluência em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]	101
Figura 7.28 - Vazios em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]	102
Figura 7.29 - Relação betume vazios em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]	102
Figura 7.30 - Massa específica em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]	103
Figura 7.31 - Estabilidade em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]	103
Figura 7.32 - Fluência em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]	104
Figura 7.33 - Vazios em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]	104
Figura 7.34 - Relação betume vazios em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]	105
Figura 7.35 - Massa específica em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]	105
Figura 7.36 - Estabilidade em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]	106
Figura 7.37 - Fluência em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]	106
Figura 7.38 - Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]	107
Figura 7.39 - Relação betume vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]	107
Figura 7.40 - Massa específica em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]	108
Figura 7.41 - Estabilidade em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]	108
Figura 7.42 - Fluência em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]	109
Figura 7.43 - Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]	109
Figura 7.44 - Relação betume vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]	110
Figura 7.45 - Massa específica em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]	110
Figura 7.46 - Relação da resistência à tração em função do percentual de filler cal [3CP]	117
Figura 7.47 - Relação da resistência à tração em função do percentual de filler caulim [3CP]	117
Figura 7.48 - Relação da resistência à tração em função do percentual de filler cal [1CP]	118
Figura 7.49 - Relação da resistência à tração em função do percentual de filler caulim [1CP]	118
Figura 7.50 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos filleres obtidas por sedimentação	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Hierarquia de gerenciamento de resíduos	6
Quadro 4.1 - Distribuição dos tamanhos de grãos dos agregados graúdos, miúdos e "filler"	49
Quadro 7.1 – Dosagem Marshall	70
Quadro 7.2 – Ensaio Marshall para 2% de filler cal – Sem Imersão - 3CP	75
Quadro 7.3 - Ensaio Marshall para 3% de filler cal – Sem Imersão - 3CP	75
Quadro 7.4 – Ensaio Marshall para 4% de filler cal – Sem Imersão - 3CP	76
Quadro 7.5 – Ensaio Marshall para 5% de filler cal – Sem Imersão - 3CP	76
Quadro 7.6 – Ensaio Marshall para 2% de filler cal – Com Imersão - 3CP	77
Quadro 7.7 – Ensaio Marshall para 3% de filler cal – Com Imersão - 3CP	77
Quadro 7.8 – Ensaio Marshall para 4% de filler cal – Com Imersão - 3CP	78
Quadro 7.9 – Ensaio Marshall para 5% de filler cal – Com Imersão - 3CP	78
Quadro 7.10 – Ensaio Marshall para 2% de filler resíduo do caulim – Sem Imersão - 3CP	79
Quadro 7.11 – Ensaio Marshall para 3% de filler resíduo do caulim – Sem Imersão - 3CP	79
Quadro 7.12 – Ensaio Marshall para 4% de filler resíduo do caulim – Sem Imersão - 3CP	80
Quadro 7.13 – Ensaio Marshall para 5% de filler resíduo do caulim – Sem Imersão - 3CP	80
Quadro 7.14 – Ensaio Marshall para 2% de filler resíduo do caulim – Com Imersão - 3CP	81
Quadro 7.15 – Ensaio Marshall para 3% de filler resíduo do caulim – Com Imersão - 3CP	81
Quadro 7.16 – Ensaio Marshall para 4% de filler resíduo do caulim – Com Imersão - 3CP	82
Quadro 7.17 – Ensaio Marshall para 5% de filler resíduo do caulim – Com Imersão - 3CP	82
Quadro 7.18 – Ensaio Marshall para 2% de filler cal – Sem Imersão - 1CP	83
Quadro 7.19 – Ensaio Marshall para 3% de filler cal – Sem Imersão - 1CP	83
Quadro 7.20 – Ensaio Marshall para 4% de filler cal – Sem Imersão - 1CP	84
Quadro 7.21 – Ensaio Marshall para 5% de filler cal – Sem Imersão - 1CP	84
Quadro 7.22 – Ensaio Marshall para 2% de filler cal – Com Imersão - 1CP	85
Quadro 7.23 – Ensaio Marshall para 3% de filler cal – Com Imersão - 1CP	85
Quadro 7.24 – Ensaio Marshall para 4% de filler cal – Com Imersão - 1CP	86
Quadro 7.25 – Ensaio Marshall para 5% de filler cal – Com Imersão - 1CP	86
Quadro 7.26 – Ensaio Marshall para 2% de filler resíduo do caulim – Sem Imersão - 1CP	87

Quadro 7.27 – Ensaio Marshall para 3% de filler resíduo do caulim – Sem Imersão - 1CP.....	87
Quadro 7.28 – Ensaio Marshall para 4% de filler resíduo do caulim – Sem Imersão - 1CP.....	88
Quadro 7.29 – Ensaio Marshall para 5% de filler resíduo do caulim – Sem Imersão - 1CP.....	88
Quadro 7.30 – Ensaio Marshall para 2% de filler resíduo do caulim – Com Imersão - 1CP.....	89
Quadro 7.31 – Ensaio Marshall para 3% de filler resíduo do caulim – Com Imersão - 1CP.....	89
Quadro 7.32 – Ensaio Marshall para 4% de filler resíduo do caulim – Com Imersão - 1CP.....	90
Quadro 7.33 – Ensaio Marshall para 5% de filler resíduo do caulim – Com Imersão - 1CP.....	90
Quadro 7.34 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RT1 – 3CP.....	112
Quadro 7.35 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RT2 – 3CP.....	112
Quadro 7.36 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RTT – 3CP.....	113
Quadro 7.37 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler resíduo do caulim – RT1 – 3CP.....	113
Quadro 7.38 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler resíduo do caulim – RT2 – 3CP.....	114
Quadro 7.39 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler resíduo do caulim – RTT – 3CP.....	114
Quadro 7.40 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RT1 – 1CP.....	115
Quadro 7.41 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RT2 – 1CP.....	115
Quadro 7.42 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RTT – 1CP.....	115
Quadro 7.43 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler resíduo do caulim – RT1 – 1CP.....	116
Quadro 7.44 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler resíduo do caulim – RT2 – 1CP.....	116
Quadro 7.45 - Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler resíduo do caulim – RTT – 1CP.....	116
Quadro 7.46 – Ensaio de sedimentação do filler cal.....	120
Quadro 7.47 - Ensaio de sedimentação do filler cimento.....	121
Quadro 7.48 - Ensaio de sedimentação do filler resíduo do caulim.....	122

LISTAS DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1.1 – Uso de materiais em um sistema econômico e as possibilidades de seu reaproveitamento [Fonte: Moller & Barros (1995)].....	2
Fluxograma 3.1 – Fluxograma da pesquisa.....	28
Fluxograma 3.2 – Seqüência adotada para o ensaio de penetração realizado na pesquisa	33
Fluxograma 3.3 - Seqüência adotada para o ensaio de viscosidade Saybolt Furol.....	34
Fluxograma 3.4 – Seqüência adotada para o ensaio Marshall	37
Fluxograma 3.5 – Seqüência para realização dos ensaios com o auxílio do pórtico de Lottman	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Ensaio Marshall – Valores limites (DNIT – ES 313/97, (1977))	23
Tabela 3.1 - Normas utilizadas para caracterização dos agregados e filleres utilizados na pesquisa	32
Tabela 3.2 - Normas utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização do CAP utilizado na pesquisa	32
Tabela 4.1 - Distribuição dos Tamanhos dos Grãos do resíduo do caulim - ensaio de sedimentação	41
Tabela 4.2 - Umidade Higroscópica do resíduo do caulim	44
Tabela 4.3 – Massa específica real dos grãos do resíduo do caulim	44
Tabela 4.4 - Composição química do resíduo do caulim no estado natural	44
Tabela 4.5 - Ensaio de caracterização do CAP	46
Tabela 4.6 - Resultados obtidos para a penetração nas misturas CAP + Filler	47
Tabela 4.7 - Resultados obtidos para a viscosidade Saybolt Furol	48

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ASSTHO	American Association of State Highway Officials
AT	Análise Térmica
ATD	Análise Termodiferencial
ATG	Análise Termogravimétrica
AQ	Análise Química
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CP	Corpo-de-prova
DNIT	Departamento Nacional de Infra-Estrutura e Transporte
DNP	Departamento Nacional de Petróleo
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
OGFC	Open-Graded Friction Course
RT1	Resistência à Tração sem condicionamento prévio
RT2	Resistência à Tração com condicionamento prévio
RRT	Relação da Resistência à Tração
SMA	Stone Matrix Asphalt
SUPERPAVE	Superior Performing Asphalt Pavements

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - OBJETIVO GERAL.....	3
1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO 2	5
2 - REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1 - RESÍDUOS SÓLIDOS.....	5
2.1.1 - Gerenciamento de resíduos sólidos.....	5
2.1.2 - Classificação dos resíduos sólidos.....	6
2.1.2.1 - Resíduos Classe I - Perigosos	7
2.1.2.2 - Resíduos Classe II A - Não Inertes	8
2.1.2.3 - Resíduos Classe II B - Inertes	8
2.2 - CAULIM.....	9
2.2.1 - Extração, beneficiamento e produção do caulim.....	9
2.2.2 - Processo de decantação do caulim.....	10
2.2.2.1 - Processo de filtração	12
2.2.2.2 - Processo de secagem e moagem.....	12
2.3 - RESÍDUO GERADO NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO CAULIM.....	13
2.4 - SUSCEPTIBILIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS A PRESENÇA D'ÁGUA	14
2.4.1 - Gênese da perda de adesividade.....	15
2.4.1.1 - Agregados.....	15
2.4.1.2 - Clima.....	16
2.4.1.3 - Compactação do revestimento	16
2.4.1.4 - Controle de qualidade.....	16
2.4.1.5 - Ligante.....	17
2.4.2 - Presença de água.....	18
2.4.2.1 - Seleção dos materiais.....	18
2.4.3 - Tráfego	19
2.4.3.1 - Transporte de material.....	19
2.4.4 - Ensaio para estudos sobre a susceptibilidade a presença de água.....	20
2.4.4.1 - Ensaio em misturas não-compactadas	20
2.4.4.2 - Ensaio em misturas compactadas	22
2.5 - FILLER.....	25
CAPÍTULO 3	28
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 - MATERIAIS.....	29
3.1.1 - Agregados graúdo.....	29
3.1.2 - Agregado miúdo.....	29

3.1.3 - Filleres	29
3.1.3.1 - Cal	29
3.1.3.2 - Cimento	29
3.1.3.3 - Resíduo do caulim	29
3.1.3.4 - Cimento asfáltico de petróleo	30
3.2 - MÉTODOS	30
3.2.1 - Etapa 01 – Caracterização dos materiais	31
3.2.2 - Etapa 02 – Ensaio com cimento asfáltico de petróleo e filleres (MASTIQUE).....	32
3.2.2.1 - Ensaio de penetração	32
3.2.2.2 - Ensaio de viscosidade Saybolt Furol	33
3.2.3 - Etapa 03 – Ensaio com misturas de agregados graúdo e miúdo, filler e CAP	34
3.2.3.1 - Ensaio Marshall	35
3.2.3.2 - Ensaio de tração indireta.....	38
CAPÍTULO 4	41
4 - RESULTADOS.....	41
4.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	41
4.1.1 - Distribuição dos tamanhos dos grãos dos filleres	41
4.1.2 - Teor de umidade higroscópica do resíduo do caulim	43
4.1.3 - Massa específica real do resíduo do caulim.....	44
4.1.4 - Análise química do caulim	44
4.1.5 - Difração de Raios – X (DRX) do resíduo do Caulim	44
4.1.6 - Análise termogravimétrica e termodiferencial do resíduo do caulim	45
4.1.7 - Ensaio de caracterização do cimento asfáltico de petróleo (CAP)	46
4.1.8 - Características físicas do agregado graúdo utilizado na pesquisa	46
4.1.9 - Características físicas do agregado miúdo utilizado na pesquisa.....	46
4.2 - ENSAIOS COM O CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO E FILLERES [MASTIQUE]	46
4.2.1 - Ensaio de penetração	46
4.2.2 - Ensaio de viscosidade Saybolt Furol.....	48
4.3 - ENSAIOS COM MISTURAS DE AGREGADOS GRAÚDO E MIÚDO, FILLERES E CAP	49
4.3.1 - Distribuição dos tamanhos dos grãos dos agregados e dos filleres.....	49
4.3.2 - Dosagem do ligante	49
4.3.3 - Ensaio Marshall	49
4.3.3.1 - Estabilidade	49
4.3.3.2 - Fluência.....	54
4.3.4 - Ensaio de tração indireta.....	57
CAPÍTULO 5	61
5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	61
5.1 - CONCLUSÕES	61
5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	62
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

7 - ANEXOS	68
7.1 - ANEXO A	69
7.1.1 - Dosagem Marshall.....	69
7.2 - ANEXO B	74
7.2.1 - Ensaio Marshall	74
7.3 - ANEXO C	111
7.3.1 - Ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman.....	111
7.4 - ANEXO D	119
7.4.1 - Ensaio de sedimentação.....	119
7.5 - ANEXO E	124
7.5.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas por difração a Laser.....	124

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO

O termo meio ambiente engloba os aspectos ligados ao ambiente natural e à sua interação com os ambientes construídos, onde se abrangem todos os componentes da terra, como o solo, a água, o ar, as construções, as rodovias, a fauna e a flora, etc.

Os diversos processos de industrialização de empresas são responsáveis pela geração de uma desordenada quantidade de resíduos (sólidos, líquidos ou gasosos). Sob condições adequadas, os resíduos podem ser reaproveitados, diminuindo assim o consumo dos recursos naturais e a necessidade de tratamento, armazenamento ou eliminação desses materiais. A esse respeito, o desenvolvimento de tecnologias alternativas podem propiciar a geração de novos produtos com conseqüente diminuição da geração de resíduos e maximização da cadeia produtiva das indústrias.

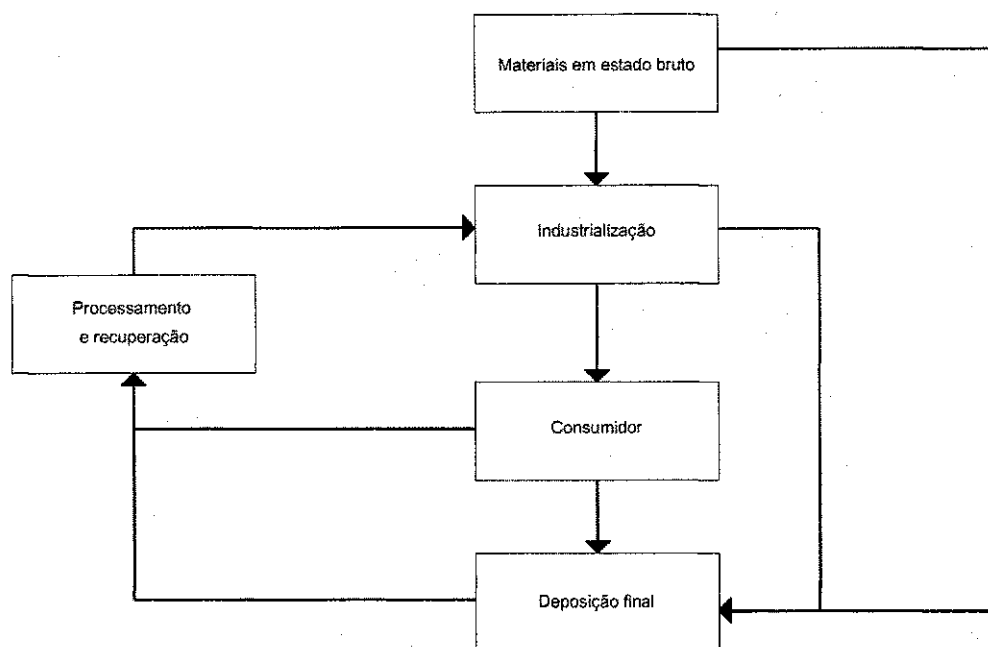
A necessidade de atender às exigências de manejo ambiental e do gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, gerados pelas mais diversas atividades industriais, vem sendo imposta, principalmente nas últimas duas décadas, pelas leis ambientais e pelos movimentos ecológicos em todo mundo. Existe atualmente uma grande preocupação com o meio ambiente por parte dos empresários, que procuram adequar-se à legislação ambiental, com o intuito de evitar desastres ecológicos que possam denegrir a imagem da empresa (LIMA, 2003).

Para o controle da poluição causada por processos industriais, o procedimento mais comum tem sido a adoção de tecnologias de tratamento de despejos, considerando-se, assim, uma "prevenção ou minimização da poluição" que é feita nos próprios processos de fabricação, conhecida como adoção de "práticas limpas", Fluxograma 1.1.

Uma prática limpa pode ser denominada pela a introdução de um novo processo menos poluidor ou pela recuperação de matéria prima perdida e recirculada na fabricação ou ainda pela valorização de um resíduo que poderá dar origem a um subproduto (MARTINS, 1997).

Segundo Martins (1997) o interesse da aplicação de práticas limpas, apresenta-se sob dois aspectos: do ponto de vista ambiental, uma vez que elas geram menos poluição, podendo mesmo chegar ao nível zero de poluição, além do que, podem resultar em maior conhecimento do processo, além de reduzir os riscos

ambientais causados por acidentes ou quebras de equipamentos; do ponto de vista econômico, vai acarretar uma maior preocupação com os desperdícios de resíduos, ocorrendo economia de energia e de matérias primas, além de conduzir a períodos mais curtos de retorno dos investimentos.



Fluxograma 1.1 – Uso de materiais em um sistema econômico e as possibilidades de seu reaproveitamento [Fonte: Moller & Barros (1995)]

Com isso, devido ao avanço do setor de industrialização, as empresas estão procurando investir mais recursos em máquinas que tendem a não agredir o meio ambiente. Assim, é importante mudanças de conceitos considerados ultrapassados e a implementação de uma política que concilie um melhor aproveitamento dos recursos naturais com o desenvolvimento de novas tecnologias alternativas, de modo que a atividade industrial desempenhe um menor comprometimento ao meio ambiente. Obtém-se a partir deste procedimento produtos competitivos em quaisquer mercados consumidores, sejam nacional ou internacional (SILVA, 1998).

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 e resulta na 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.

O setor de beneficiamento do caulim precisa de um melhor gerenciamento e maior conscientização da responsabilidade com respeito ao meio ambiente e a comunidade. Os responsáveis pelas beneficiadoras devem estar conscientes do papel relevante que deverão exercer nas áreas onde atuam, procurando reduzir os

impactos causados na cadeia produtiva do caulim. A confecção de materiais alternativos, tendo-se como constituintes os resíduos gerados no processo de beneficiamento do caulim, poderá promover o aparecimento de novas oportunidades de trabalho e renda, imprescindíveis ao processo de desenvolvimento.

O aproveitamento de resíduos 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, tomando-se uma fonte de receita financeira da indústria responsável por tais danos, além de reduzir os impostos exigidos por órgãos ambientais atuantes, devido às causas da poluição gerada.

Devido à grande produção do resíduo do caulim, por parte das empresas beneficiadoras, tem-se procurado realizar trabalhos para utilizar este resíduo como material de reaproveitamento na construção civil e em misturas asfálticas. É relevante, o estudo da viabilidade do reaproveitamento do resíduo proveniente do beneficiamento do caulim como filler em misturas asfálticas. Essa aplicação deve ser encarada como uma forma de redução de custos na pavimentação e no reaproveitamento de um material embora atualmente visto como sem utilidades pelas indústrias de beneficiamento, mas que minimiza os efeitos da degradação ambiental.

1.1 - OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um estudo sobre a possibilidade da utilização do resíduo, com origem no processamento do caulim, como filler nos concretos asfálticos, em substituição aos materiais convencionais como a cal e o cimento portland. Procurar-se-á com isto reduzir os impactos ambientais que este resíduo proporciona ao meio ambiente e o custo final dos concretos asfálticos usinados a quente (CBUQ).

Com isso, procurar-se-á:

- verificar a potencialidade do resíduo com origem no processamento do caulim em misturas asfálticas como filler, responsável, principalmente, pela melhoria da adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados graúdo e miúdo e pelo incremento da vida de serviço dos pavimentos;
- minimizar os efeitos de degradação ao meio ambiente provocados pela deposição inadequada do resíduo gerado na cadeia produtiva do caulim;
- agregar valor ao resíduo, causador de impactos ambientais devido a sua deposição de forma irregular, ao torná-lo matéria prima em outra cadeia produtiva.

1.2 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O relato encontra-se em um volume distribuído da seguinte forma:

[Capítulo 1] Introdução, objetivos e organização do trabalho – é descrita uma visão geral do trabalho com 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: resíduos sólidos, caulim, resíduo gerado no processo de beneficiamento do caulim, susceptibilidade de misturas asfálticas a presença de água e filler.

[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.

Por fim, estão incluídos as referências bibliográficas e os anexos, onde foram inseridas as referências citadas para a realização do trabalho e as planilhas, os gráficos, e os quadros resultantes dos ensaios realizados.

CAPÍTULO 2

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - RESÍDUOS SÓLIDOS

Resíduo sólido é o termo que designa lixo, refugo e outras descargas de materiais sólidos, incluindo materiais provenientes de operações industriais, minerais, comerciais, agrícolas e de atividade de comunidade.

Resíduos sólidos são aqueles nos estados sólido e semi-sólido (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 de 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 de 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.

2.1.1 - 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.

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)

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 resíduos gerada deverá ser estudada (E & FORUM, 1993).

A minimização da quantidade de resíduos pode gerar benefícios para a empresa, 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 à sociedade em relação ao meio ambiente e o aumento da capacidade de competir no mercado (THIENSEN, 2001).

2.1.2 - 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 identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser criteriosa e estabelecida de acordo com as matérias primas, os insumos e o processo do qual teve origem.

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.

Estes resíduos são classificados como: a) Resíduos classe I - perigosos; b) Resíduos classe II – não perigosos; c) resíduos Classe II A - não inertes; e d) Resíduos classe II B – inertes.

2.1.2.1 - Resíduos classe I - perigosos

São classificados como resíduos classe I ou 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 anexos A e B da referida norma fornecem uma relação de resíduos sólidos industriais reconhecidamente perigosos.

Os resíduos que submetidos ao teste 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 teste de lixiviação se aplica somente aqueles resíduos que apresentam entre seus constituintes um ou mais dos elementos e substâncias constantes do anexo F da NBR 10004 (2004).

São ainda classificados como resíduos perigosos os resíduos de restos de embalagens contaminadas com substâncias do anexo D e os resíduos de derramamento ou produtos fora de especificação de qualquer substância dos anexos D e E.

Qualquer outro resíduo, que se supõe ser tóxico e que não conste nos anexos, deve ter sua

classificação baseada em dados bibliográficos disponíveis, uma vez que os testes de toxicidade a organismos superiores não são usuais entre nós.

2.1.2.2 - Resíduos classe II A - não inertes

São classificados como classe II A ou resíduos não inertes os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos 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.

2.1.2.3 - Resíduos classe II B - inertes

São classificados como classe II B ou resíduos inertes os resíduos sólidos ou mistura de resíduos sólidos que, submetidos ao teste 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 exemplo destes materiais, pode-se citar: rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos.

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.

Os resíduos que não forem classificados nestes anexos devem ser avaliados quanto à presença, em sua composição, de substâncias constantes do anexo C. As substâncias presentes no anexo C são aquelas que, com certeza, são tóxicas, cancerígenas, mutagênicas ou teratogênicas aos seres vivos e ao homem. Entretanto, a simples presença de uma dessas substâncias no resíduo não implica, necessariamente, sua classificação como perigosos. Para isso, deverão ser analisados conjuntamente os seguintes fatores:

- natureza da toxicidade apresentada pelo resíduo;
- concentração do constituinte no resíduo;
- potencial que o constituinte tem de migrar do resíduo para o ambiente sob condições impróprias de manipulação;
- persistência que o constituinte de qualquer produto tóxico de sua degradação tem em degradar-se em constituintes não perigosos, considerando-se a velocidade em que ocorre essa degradação;
- extensão em que o constituinte ou os produtos de sua degradação seja capaz de bioacumular nos ecossistemas.

Caso ainda não seja possível a sua classificação, deve-se avaliar sua periculosidade real, por meio da comprovação de pelo menos uma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.

Se ainda assim existirem dúvidas quanto à classificação, deve-se proceder da mesma maneira como se fez em relação às substâncias do anexo C, ou seja, analisar os fatores descritos no parágrafo anterior.

A partir dessas considerações, é possível classificar o resíduo como perigosos ou não. Se o resíduo for classificado como não perigoso, o próximo passo será submetê-lo ao teste de solubilização que consiste em comparar os resultados obtidos da análise do extrato do teste de solubilização com os padrões do anexo G e classificam-se os resíduos como inertes ou não inertes.

2.2 - CAULIM

O termo caulim tem origem na expressão "Kauling", que na língua chinesa significa colina alta, se referindo a uma colina localizada no norte da China, onde o material é extraído há tempos. Por esse motivo, em várias partes do mundo o caulim é conhecido como "China Clay" (argila da China).

O caulim é um minério argiloso de cor branca, ou quase branca, devido ao baixo teor de ferro, que começou a ser explorado há mais de 3.000 anos na China, sendo um dos mais importantes e um dos seis minerais mais abundantes do topo da crosta terrestre. Tecnicamente existem dois tipos de caulim: caulim residual, formado a partir da ação do intemperismo ou soluções hidrotermais sobre rochas e caulins sedimentários que resultam do transporte, deposição e purificação de caulins primários pelas correntes de água e matérias orgânicas (CLERICUZI *et al*, 2001).

Em sua composição mineralógica, o caulim é formado essencialmente pelos argilominerais caulinita e haloisita, também ocorrendo alguns outros minerais do grupo da caulinita. Além disso, o caulim sempre contém outras substâncias sob a forma de impurezas: grãos de feldspato, quartzo, areia, palhetas de mica, óxidos de ferro, etc (SILVA, 1993).

A composição química do caulim está relacionada com a composição do mineral caulinita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Entretanto, outros elementos são constituintes do caulim, além do alumínio, silício, hidrogênio e oxigênio. Sua constituição química é expressa em termos dos óxidos dos vários elementos: $\text{SiO}_2 = 51,3\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 34,6\%$, $\text{TiO}_2 = 0,5\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,5\%$ e Álcalis = 2,1%.

2.2.1 - Extração, beneficiamento e produção do caulim

Antes de sua utilização final, o caulim precisa ser refinado e processado para aprimorar as suas propriedades físicas, tais como: alvura, granulometria, viscosidade e pureza que são comercialmente importantes, dependendo de sua utilização final.

A primeira aplicação do caulim se deu na fabricação de artigos cerâmicos e de porcelana. Posteriormente, o caulim passou a ser utilizado na indústria do papel e na indústria da borracha. O caulim tem muitas aplicações industriais e novos usos estão sendo desenvolvidos e pesquisados. Atualmente, o caulim é empregado na produção de tintas, plásticos, borrachas, cosméticos, produtos químicos, veterinários, catalisadores para refino de petróleo, cimentos, materiais refratários, produtos alimentícios, farmacêuticos, cosméticos, entre outros.

Suas principais aplicações ocorrem na indústria de papel, que consome cerca de 47% da produção mundial, como agente de enchimento ou carga (filler) e como agente de revestimento ou cobertura (coating) e na composição de pastas cerâmicas. O caulim tipo filler, de carga, é adicionado à celulose com a finalidade de melhorar a formação e opacidade durante a produção de papel. Já o caulim tipo coating, de revestimento, é empregado na cobertura do papel destinado à impressão de alta qualidade, conferindo-lhe maior brilho, maciez e alvura (SILVA, 1993).

O Brasil detém 28% das reservas mundiais de caulim, perdendo para os EUA e seguido da Ucrânia e Índia. 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 (DNPM, 1996). Os principais produtores mundiais são os Estados Unidos, seguindo-se o Reino Unido, a Coreia do Sul, a Alemanha, o Brasil e a China. O caulim produzido no Brasil é proveniente de vários estados: Amapá, Pará, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, responsáveis por mais de 99% da oferta de caulim beneficiado. Também são produtores a Bahia, Paraíba e Paraná, (DNPM, 2001).

A caracterização das etapas do processo produtivo do mineral caulim é de fundamental importância por propiciar a compreensão dos aspectos básicos e técnicos operacionais, referentes à indústria de extração e de beneficiamento.

A cadeia produtiva do caulim divide-se em duas importantes etapas: a extração do minério bruto e o beneficiamento para posterior comercialização. A extração ocorre nas regiões de reservas do mineral, onde se obtém a matéria-prima bruta que é destinada à planta de beneficiamento do caulim.

Após a extração do minério bruto e eliminação da areia, inicia-se a etapa de beneficiamento do caulim que, por sua vez, se divide em três grandes processos: processo de decantação, processo de filtração e processo de secagem e moagem.

2.2.2 - Processo de decantação do caulim

Este processo tem como finalidade classificar as parcelas da mistura de acordo com a sua granulometria para destiná-las, respectivamente, à sua utilização final.

Depois de eliminada a areia, o material é disperso em água iniciando-se a primeira lavagem da matéria-prima (Figura 2.1(a)). Em seguida, é transportado por gravidade para a etapa de peneiramento. No transporte, é realizada a separação do material grosso da mistura, pois se sub-entende que este dificultaria, caso presente, a realização do peneiramento. Esta separação gera uma grande quantidade de rejeito que corresponde ao resíduo grosso da cadeia produtiva do caulim (Figura 2.1(b)).

Na etapa de peneiramento ocorre a classificação do tamanho das partículas da mistura. Denominado de "coberto" é constituído por um conjunto de peneiras: peneiras de número 200, com abertura 0,074mm, e peneiras de número 325, de abertura 0,044mm, que estão empilhadas em ordem crescente da abertura da malha. Ao chegar nesse sistema de peneiramento, a mistura é classificada de acordo com as dimensões de suas partículas: todo o material que passa nas peneiras de número 200 corresponde ao caulim que será beneficiado, caso se faça necessário um melhor refinamento do minério, ele é passado nas peneiras de número 325. O material retido nas peneiras com abertura 0,074mm é rejeitado e consiste no resíduo fino da cadeia produtiva do caulim. Este material é conhecido, usualmente, como a "borra do caulim".



(a)



(b)

Figura 2.1 – (a) Dispersão da matéria-prima bruta em água e (b) Separação do material grosso da mistura.

Local: indústria CAULISA -SA, BR 230 - PB, Km 250

É durante a etapa de lavagem e de classificação do tamanho das partículas da mistura que se tem a geração do resíduo da cadeia produtiva do caulim. Aproximadamente 70% da matéria-prima bruta é rejeitada durante o processo, e depositado a céu aberto, pois as indústrias beneficiadoras não têm a preocupação de construir tanques de deposição, lançando a imensa quantidade de rejeito no meio ambiente.

O material peneirado é bombeado, por gravidade, por meio 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 a separação da fração de maior granulometria através da sedimentação. A fração mais fina, que se posiciona na região superficial, passa 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 dá-se o mesmo procedimento de sedimentação descrito, acontecendo o mesmo no quarto tanque. A Figura 2.2 ilustra um dos tanques de decantação usados para a lavagem do caulim.



Figura 2.2 – Tanques de decantação para lavagem do caulim - CAULISA - SA, Br 230 - PB, km 250

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.

2.2.2.1 - Processo de filtração

O processo de filtração consiste em retirar, da melhor forma possível, a água que está misturada com o caulim no tanque de vazamento, para assim reduzir a umidade do mineral. Este processo é realizado por meio 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. Estes blocos são destinados ao último processo do beneficiamento do caulim.

2.2.2.2 - Processo de secagem e moagem

Os blocos de caulim ainda hidratados são destinados para a fase de secagem para perda total da umidade. A secagem parcial é realizada por meio da evaporação, em que os blocos são expostos diretamente ao sol e ao ar e, posteriormente, os blocos de caulim são dispostos no forno e com o aquecimento ocorre a desagregação de partículas e os blocos vão se esfarelando (Figura 2.3(a)).

Em seguida, é feito o destorreamento 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. O caulim é, finalmente, ensacado e destinado à comercialização (Figura 2.3(b)).

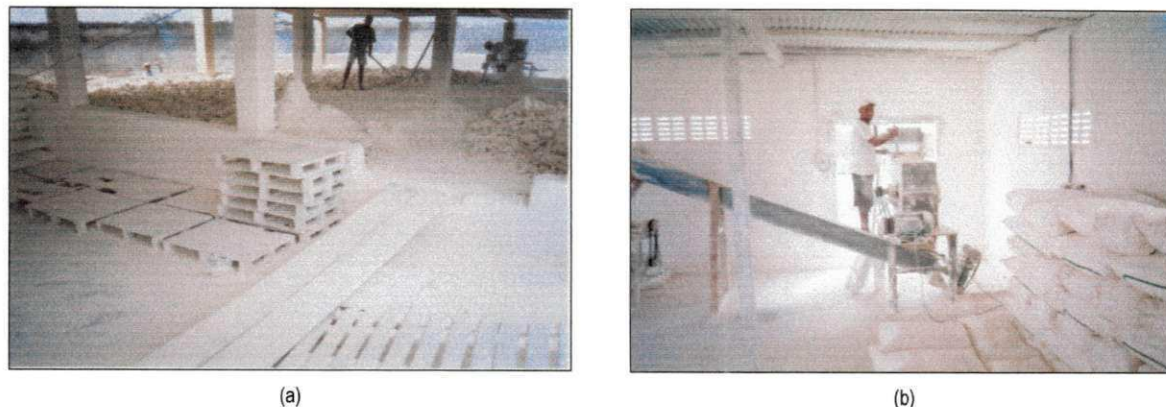


Figura 2.3 – (a) Caulim prensado em forma de blocos e levado ao forno e (b) Moagem do caulim e ensacamento - CAULISA -SA, Br 230, PB, Km 250.

2.3 - RESÍDUO GERADO NO PROCESSO DE BENEFICIAMENTO DO CAULIM

O processo de beneficiamento do caulim vem preocupando proprietários, ambientalistas e governantes, devido à quantidade crescente de rejeito gerado. O resíduo grosso do caulim, proveniente da lavagem da matéria-prima bruta e o resíduo fino do caulim, obtido durante a fase de peneiramento da mistura e que precisam ser descartados, provocam impactos negativos ao meio ambiente. Os resíduos gerados, muitas vezes, são lançados diretamente nos ecossistemas, sem serem submetidos a qualquer processo de tratamento para eliminar ou reduzir os constituintes presentes nestes despejos, que podem ser poluentes nocivos ao habitat natural e, conseqüentemente, à manutenção da vida, quando presentes em teores acima dos toleráveis (NEVES, 2002).

Os responsáveis pelas indústrias de beneficiamento do caulim, em sua maioria, não se preocupam em construir tanques de deposição, visto que, estes logo ficam repletos, devido a grandes quantidades de resíduos despejados e devem ser esgotadas a um alto custos. Dessa forma, os resíduos são jogados em áreas não apropriadas, córregos, lagoas artificiais e naturais, rios, entre outros. (Figura 2.4 (a) e (b)).

O setor das indústrias de beneficiamento do caulim vem sendo citado como fonte de contaminação e poluição do meio ambiente, o que vem forçando os seus responsáveis pela busca de soluções técnicas embasadas em estudos da comunidade científica, destacando-se o reaproveitamento deste resíduo como material alternativo na construção civil.

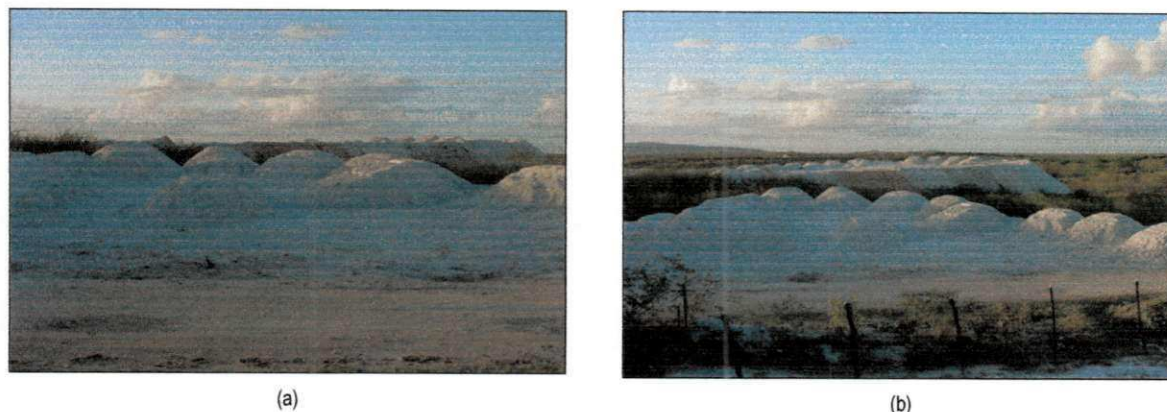


Figura 2.4 - (a) e (b) - Resíduos do caulim lançados no meio ambiente, sem critérios de proteção ambiental, às margens da BR-230 PB, Km 250

2.4 - SUSCEPTIBILIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS A PRESENÇA DE ÁGUA

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

A susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água é um dos principais agentes responsáveis pelo agravamento dos danos em revestimentos asfálticos. Esta susceptibilidade pode ser definida como a perda de resistência e durabilidade das misturas asfálticas quando submetidas à presença prolongada e excessiva de 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 rachaduras, afundamento de trilha de roda ou desagregações (JONES & LITTLE, 2003).

Andeson & D'Angelo (2003) descrevem que a AI's ES-10, *causas e prevenções da perda de adesão nos pavimentos asfálticos*, publicou que a água é a principal culpada pela perda de adesão e coesão no asfalto e que qualquer fator que contribua para a presença desta no interior do asfalto é um cúmplice. Os autores sugerem um bom projeto de dosagem da mistura asfáltica e uma drenagem adequada para evitar a perda de adesão, mesmo que o agregado esteja sujeito a produzir danos.

Hainin *et al* (2003) definem a perda de adesividade como a separação do ligante asfáltico do agregado devido aos esforços ocasionados pelo tráfego que causam tração da película de asfalto. De acordo com Furlan (2004), o acelerador deste mecanismo é a presença de água, que pode atuar de diversas formas: infiltrando-se e alojando-se entre agregado e asfalto, descolando-o; "lavando" o asfalto quando aliada às cargas do tráfego; ou amolecendo o asfalto por emulsificação e, desse 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 como fatores que irão influenciar a adesividade entre este e o asfalto. As fissuras ocorrem com mais frequência nos agregados angulares, uma vez que estes promovem a ruptura do masticue permitindo a entrada de água, como à ligação entre as moléculas de água e do agregado é mais forte que o agregado com as misturas asfálticas haverá um aumento do teor de umidade com uma diminuição da resistência da mistura (GZENSKI *et al*, 1968; *apud* JONES & LITTLE, 2003).

Hunter & Ksaibati (2003) descrevem que a perda de adesividade começa na camada mais interna e se irradia até a camada de revestimento. A dificuldade de identificação da perda de adesividade é devido ao longo período para que os defeitos característicos nos revestimentos se tornem perceptíveis, logo torna-se essencial a observação de seções transversais do pavimento para a detecção dos indícios de tal fenômeno.

2.4.1 - Gênese da perda de adesividade

As variáveis que causam as falhas devido à presença de água podem ser de natureza química, física e mecânica. Entre estas, as mais relevantes na interferência da susceptibilidade à água e, em decorrência disto, na resistência do asfalto, estão explicitados a seguir.

2.4.1.1 - Agregados

A quantidade do agregado presente nas misturas asfálticas de pavimentos é de 90 a 95% em peso e de 75 a 85% em volume. Como o agregado é um dos responsáveis pela capacidade de suportar as cargas do pavimento, o desempenho deste encontra-se intimamente 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 ligante asfáltico.

Brasileiro (1983) sugeriu 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 de agregados graúdos. 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 a defeitos devido a presença de água e o número de vazios da mistura. Os autores ressaltam que os agregados miúdos são os constituintes primários das misturas asfálticas e que sua quantidade e angulosidade são fatores que afetam o desempenho das misturas asfálticas.

De acordo com Pereira & Pereira (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. Yoon & Tarrer (1988) *apud* Jones & Little (2003) mostraram 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 asfalto.

Na composição do agregado encontram-se vários minerais em cuja constituição poderá ocorrer a predominância. Geralmente o dióxido de sílica (que é um ácido) ou o carbonato de cálcio (que é uma base) constitui o mineral predominante. As ligações, das moléculas de ácido-base com as moléculas do agregado, constituirão o fator principal na adesão do asfalto. Contudo, este não será o único fator importante na resistência à susceptibilidade a presença d'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 maior resistência à presença de água.

2.4.1.2 - Clima

De acordo com Darous (2003), o clima constitui um dos fatores que mais afeta o desempenho do pavimento por meio de precipitações pluviométricas e da temperatura do ar. Os mecanismos pelos quais este fator influencia são: intemperização dos materiais, alteração do módulo de resiliência e a umidade de equilíbrio.

A umidade de equilíbrio é o valor médio do teor de umidade do solo do subleito ao longo do ano, após a fase de acomodação dos primeiros meses de serviço, este teor de umidade irá apresentar relação com a pluviosidade (MEDINA, 1997).

2.4.1.3 - Compactação do revestimento

Estudos realizados por D'Angelo & Anderson (2003) mostraram que os vazios de ar em misturas asfálticas devem ficar abaixo de 3% (para os vazios não ficarem interconectados e assim o asfalto torna-se impermeável) ou acima de 8% (para permitir a drenagem de água). Quando não são obedecidos estes limites é possível que ocorra a exsudação e o 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 ligante.

2.4.1.4 - Controle de qualidade

De acordo com Hainin *et al.* (2003), o controle de qualidade do asfalto começa com a estocagem dos materiais. O local para estoque do agregado deve ser seco, limpo e estável. A estocagem dos agregados deve ser construída de forma a minimizar a segregação das partículas graúdas. Devido a isto, o local deve ter espaço entre os estoques para não ocorrer contaminação, além de drenagem adequada para deixá-lo consistente. Salienta-se, também, a importância do local que deve ter uma adequada proteção para impedir a infiltração da água. As misturas que contém maior quantidade de agregados graúdos irão necessitar de uma maior drenagem

do que as misturas que possuem um maior número de agregados miúdos.

Os equipamentos utilizados, durante o processo de confecção dos pavimentos, devem ser devidamente calibradas para garantir que todos os componentes estejam trabalhando dentro das margens de tolerância. O controle apropriado dos componentes da mistura é fundamental para produção. Hainin *et al.* (2003) citam alguns pontos que devem ser considerados durante o processo de produção, são estes:

- controle e monitoramento do teor de umidade;
- adequada mistura do agregado com a Cal;
- introdução apropriada do líquido contra perda de adesão;
- controle da introdução do tratamento contra perda de adesão;
- drenagem apropriada dos agregados.

O controle do tamanho dos agregados, como também teor de umidade, ligante, temperatura da mistura e outros são essenciais para produzir um consistente e uniforme material.

2.4.1.5 - Ligante

Os ligantes são preparados para apresentarem características próprias para uso na construção de camadas asfálticas do pavimento. Sua utilização é adequada para este fim, pois apresenta propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, características de flexibilidade, durabilidade e de alta resistência a ação da maioria dos produtos inorgânicos (MOURÃO,2003) .

O ligante influencia tanto a adesividade entre este e o agregado como a coesão do *mastique*. A adesividade sofre influência da composição química do concreto asfáltico e da dureza do ligante. Portanto, a força de coesão do asfalto, na presença de água, será influenciada pelas técnicas de processamento e pela natureza do ligante.

De acordo com Leite *et al.* (1996), estão sendo produzidos ligantes asfálticos modificados que visam alterar e melhorar as propriedades do asfalto e conseqüentemente incrementarem o desempenho dos pavimentos em longo prazo. Os modificadores provocam a redução da dependência da temperatura, o envelhecimento oxidativo do ligante asfáltico e da susceptibilidade à presença de água nas misturas asfálticas.

O cimento asfáltico não é imutável, ele muda de acordo com certas circunstâncias como: tempo, ar, temperaturas elevadas durante a estocagem e finos filmes destes, que quando submetidos ao processo de misturas a quente, expõem o ligante a riscos de mudanças de suas características devido a oxidação.

Os ligantes são geralmente obtidos pela destilação do petróleo, utilizando diferentes técnicas. Em

temperatura ambiente, o ligante é um mineral semi-sólido que deve ser aquecido para ser misturado com o agregado (HUNTER, 2003). Quando estes estão a baixa temperatura, eles tornam-se frágeis e quebradiços, enquanto que em altas temperaturas eles tornam-se um líquido viscoso. A adequada viscosidade do ligante irá afetar o desempenho dos pavimentos, logo para assegurar esta propriedade está sendo estudada a utilização de asfaltos modificados (GONZÁLEZ *et al.*, 2004).

2.4.2 - Presença de água

De acordo com Ibrahim *et al.* (1997), os pavimentos podem sofrer a ação de três tipos de água: água de chuvas, água de esgoto e água potável desperdiçada pelos consumidores domésticos. Este fator irá fornecer uma energia suficiente para quebrar ligações adesivas e causar falha de coesão. D'Angelo & Anderson (2003) descrevem que, recentemente, uma pesquisa da NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) indicou que quando houver uma má drenagem, haverá uma maior tendência ao aumento da fadiga, trincas e presença de sulcos no revestimento que contribuem para a perda de adesão.

Como a água e o vapor podem deslocar-se pela ação da gravidade ou da capilaridade, é importante que o projeto de revestimento apresente uma camada que permita a saída rápida de água para não acumulá-la dentro do pavimento. Segundo Mallich *et al.* (2003), a vida útil dos pavimentos permeáveis é inferior a vida útil dos pavimentos pouco permeáveis e a infiltração da água irá afetar a durabilidade dos pavimentos.

2.4.2.1 - Seleção dos materiais

Durante o processo de refinamento do petróleo podem ser encontrados materiais como sais, ácidos e argilas que podem acarretar danos à refinaria e as misturas asfálticas quando em presença de água. Tanto os sais como os ácidos podem provocar a corrosão dos equipamentos e devem ser removidos, respectivamente, pela adição de água e a inclusão de soda caustica ou cal.

D'Angelo & Anderson (2003) relatam que existem três tipos de misturas que irão responder de maneiras diferentes a presença de água: misturas com distribuição dos tamanhos das partículas fechada, aberta com materiais pulverulentos (Stone Matrix Asphalt – SMA)

As misturas com distribuição dos tamanhos das partículas fechada são homogeneamente distribuídas, ou seja, são utilizados agregados com granulometria contínua, em que o equilíbrio entre partículas grossas, médias e finas visa criar uma mistura mais densa e resistente. A Associação Nacional de Pavimentos Asfálticos e o Instituto de Asfalto dos Estados Unidos detectaram que ao utilizar este tipo de mistura haverá uma inibição da adesão do ligante com o agregado, permitindo a penetração de água.

As misturas com distribuição dos tamanhos de grãos aberta com os vazios preenchidos com materiais pulverulentos, geralmente cerca de 3% a 6% de polímeros (SMA). A mistura asfáltica SMA é caracterizada pelo

elevado conteúdo de agregado que forma o esqueleto mineral. Os vazios no esqueleto mineral são preenchidos por um mastique betuminoso de elevada viscosidade. O elevado conteúdo de agregado graúdo, de pelo menos 70%, assegura um contato partícula/partícula depois da compactação. A rigidez necessária para o mastique é alcançada por meio da adição da areia britada (HORST, 2000 *apud* MOURÃO 2003).

As misturas com distribuição dos tamanhos das partículas aberta (Open-Graded Friction Course - OGFC) são aquelas típicas de asfaltos drenantes e irão permitir uma rápida drenagem de água. Segundo D'Angelo & Anderson (2003) dos três tipos de misturas existentes, deve-se evitar a mistura com distribuição dos tamanhos das partículas fechada, devido a estas serem mais propensas a apresentarem danos relativos à perda de adesividade.

2.4.3 - Tráfego

Ao longo da vida útil de um pavimento ele sofrerá a ação do tráfego e do intemperismo. Albano et al. (2002) citaram que a ação deste agente, não apenas pelo peso transportado, mas também pela frequência com que solicita o pavimento irá provocar a deteriorização do mesmo. Esta deteriorização irá caracterizar-se pelo rompimento da camada de concreto asfáltico, originando trincas que surgem na fibra inferior da camada e irão se propagar por toda superfície.

A ocorrência de trincas no pavimento irá facilitar a penetração das águas pluviais, acelerando os fenômenos de perda de adesão e coesão. Os veículos comerciais como caminhões e ônibus apresentam maior carga deslocada e, portanto são os principais responsáveis pelo aparecimento das trincas.

Devido à influência do tráfego na susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água, ao dimensionar-se a estrutura de um pavimento deve-se ter uma estimativa da demanda e da pesagem dos veículos.

2.4.3.1 - Transporte de material

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.

Durante o transporte da mistura pode ocorrer a drenagem do ligante dos agregados graúdos, ou seja, ocorrer a segregação física. Como resultado disto, os agregados graúdos não estarão cobertos com ligante suficiente e pelos mecanismos de separação, deslocamento ou desgaste hidráulico podem ocorrer falhas devido a presença de água. Outro problema é o excessivo resfriamento da mistura asfáltica, se este for muito abaixo das temperaturas do ligante e da temperatura inicial da mistura, então teremos baixa densidade no revestimento, permitindo a penetração de água.

2.4.4 - Ensaios para estudos sobre a susceptibilidade a presença de água

A escolha do ensaio apropriado para simular os danos que poderão ocorrer com determinadas misturas devido à presença de água depende de parâmetros como agregados, ligantes asfálticos, condições climáticas, tráfego e práticas de construção. Devido à variedade de tais parâmetros são necessários estabelecer ensaios capazes de atender aos seguintes critérios:

- ser capaz de representar os mecanismos que provocam danos aos pavimentos em condições similares as 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 que os testes 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

2.4.4.1 - Ensaios em misturas não-compactadas

Estes ensaios 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 quando comparados que os realizados em misturas compactadas. A principal finalidade desses ensaios é a de poder estudar 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 estimar a percentagem de agregado que sofreu perda de adesividade;
- ensaio estático de imersão – após uma amostra de mistura asfalto-agregado ser aquecida a 60° por 2 horas e sofrido agitação 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 giração. Este ensaio é utilizado para acelerar a perda de adesividade do material em comparação com o estático, todavia ele não é muito adotado;

- ensaio de imersão química – ele irá determinar a adesão existente entre o betume e o agregado por meio da fervura da cobertura asfáltica na presença de água destilada. São adicionadas à água destilada quantidades de carbonato de sódio (Na_2CO_3) que variam de 0 a 106 gramas. Então, observá-se qual a menor concentração de Na_2CO_3 na qual começará a notar-se a perda de adesividade do betume;

- 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 geração deste gás, haverá uma maior área de superfície. Os níveis de perda de adesividade serão resultados da área de superfície exposta dos agregados. Apesar da simplicidade deste ensaio, ele apresenta desvantagens visto que utiliza grandes concentrações de ácidos corrosivos e tóxicos;

- ensaio de fervura – este consiste em colocar a amostra em água fervente e posteriormente drena-la e resfria-la. A partir de observações de sua aparência final iremos 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, servindo de indicador no controle de qualidade (ROBERTS *et al.*, 1996). A desvantagem deste ensaio é por ele não considerar os efeitos provocados pelo tráfego;

- ensaio de absorção – 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 de 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 ligantes asfálticos modificados, pois podem acarretar diferenças na solubilidade do tolueno e na absorção entre a base de cimento asfáltico e o agente modificador do asfalto;

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

- Pneumatic Pull-off – Através deste ensaio pode-se avaliar de maneira eficiente a susceptibilidade dos filmes asfálticos à presença de água. Para isto, ele irá medir a tensão e a rigidez do ligante asfáltico em função do tempo de exposição à água;

- 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, por meio de radiações ionizantes.

Por ser um método rápido e de boa qualidade ele trará economia a obra.

2.4.4.2 - Ensaios em misturas compactadas

Entre os ensaios utilizados com mistura compactada podemos destacar:

- Resistência à tração retida por umidade induzida – a importância do ensaio deve-se a ele associar os resultados laboratoriais com o desempenho das misturas asfáltica em campo. O método utilizado neste é a junção de dois outros métodos: Tunncliff e Root NCHRP-274/84 e o ensaio de Lottman (MOURA, 2001 *apud* BRANCO, 2004). Neste ensaio são moldados 02 grupos de amostras, um que apresenta condicionamento de acordo com o procedimento do ensaio de Lottman e outra sem condicionamento. Nesse método acha-se a resistência à tração de ambas;

- Coesímetro de Hveem - pouco conhecido e utilizado este ensaio é utilizado para estimar "coesão" de uma mistura compactada, por meio 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. Neste ensaio procura-se prever a capacidade de um corpo-de-prova para resistir a desagregação imposta pelo tráfego, podendo ser considerado na avaliação da susceptibilidade aos danos por umidade (FURLAN, 2004).

- Ensaio Marshall - O ensaio Marshall foi desenvolvido em 1930 pelo Departamento de Estradas e Rodagem do estado do Mississippi (E.U.A.). Sua finalidade é apontar o teor ideal que fornecerá uma maximização dos efeitos de estabilidade, porcentagem de vazios, fluência e resistência para misturas betuminosas.

Leal & Castro (2004) descrevem que apesar do método de estabilidade Marshall ser contestada por alguns autores pela dispersão de seus resultados e confinamento do corpo-de-prova, ele é um dos parâmetros mais utilizados para dosagem e controle de qualidade das misturas asfálticas.

No Brasil, segundo especificado no DNIT-ES 313/97 (1977), os parâmetros utilizados no ensaio Marshall devem se enquadrar conforme os limites mostrados na Tabela 2.1.

Hills (1973) *apud* Amaral (2000) relata que uma das propriedades mais importantes de uma mistura asfáltica é a sua estabilidade, ou seja, a habilidade desta em resistir à deformação permanente quando sujeita à passagem de veículos ou mesma quando sujeita aos veículos estacionados. Contudo, ensaios laboratoriais, como o Marshall, idealizados para medir a estabilidade destas misturas, são empíricos em sua essência.

Por meio do ensaio Marshall é possível avaliar a propriedade da resistência em misturas asfálticas, considerando o efeito deletério da água em corpos-de-prova Marshall. A análise é feita mediante a relação da resistência a tração média entre corpos-de-prova sem condicionamento com corpos-de-prova previamente submetido ao condicionamento. Logo, por meio do valor desta relação, pode-se "prever" o desempenho da mistura em relação a adesividade do ligante com o agregado (MOURÃO, 2003).

Tabela 2.1 - Ensaio Marshall – Valores limites (DNIT – ES 313/97, (1977))

DISCRIMINAÇÃO	ROLAMENTO	LIGAÇÃO (Binder)
Percentagem de vazios (%)	3 a 5	4 a 6
Relação Betume/ Vazios (%)	75/82	65/72
Estabilidade Mínima	350 (75 golpes)	350 (75 golpes)
(kgf)	250 (50 golpes)	250 (50 golpes)
Fluência (mm)	2,0 – 4,5	2,0 – 4,5

- Tração indireta de Lottman - Segundo Tandon et al. (2003), o ensaio de 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.

Pode-se dividir o condicionamento dos corpos-de-prova em três etapas: saturação, congelamento e aquecimento da água. Mourão (2003) e Wesseling (2003) mostram que com relação ao período de desempenho das misturas asfálticas, o ensaio Marshall utiliza os mesmos processos de condicionamento utilizado no ensaio de Lottman, que apresenta um período estimado de 4 a 12 anos de previsão de análise do efeito da adesividade nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas.

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

Tandon *et al.* (2003) identificam o ensaio de Lottman como um dos mais utilizados nos Estados Unidos e dentre este o que obtém maior êxito nas previsões dos comportamentos das misturas asfálticas.

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

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

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.

2.5 - FILLER

Segundo o DNIT-EM 367 (1997) o filler é o material mineral inerte em relação aos demais componentes da mistura, não plástico, do qual passam, pelo menos, 65% na peneira de 0,075 mm de abertura de malha, devendo ser homogêneo, seco e livre de grumos provenientes de agregações de partículas finas.

Santana (1995) sugere uma definição geral para o filler: "é um material finamente dividido constituído de partículas minerais provenientes dos agregados graúdos e/ou miúdos empregados na mistura asfáltica, ou de outras fontes que se incorpora à mistura asfáltica para melhorar seu desempenho reológico, mecânico, térmico e de sensibilidade à água, devendo obedecer a especificações próprias, em que devem estar incluídos limites para a granulometria e para a plasticidade".

Sabe-se que o filler 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 das partículas e de suas características de superfície, o filler age como material ativo, manifestado nas propriedades da interface filler - cimento asfáltico. Sua adição aumenta a viscosidade do meio coesivo, resistência à deformação (MOURÃO, 2003).

Estudos conduzidos por Tayebali *et. al* apud Wesseling (2003) indicam que o aumento da quantidade de filler nas misturas asfálticas não comprometem o desempenho em termos de deformação permanente. Ao contrário, os resultados do estudo indicam que o aumento da quantidade de alguns tipos de filleres, dentro de certos limites, têm efeito benéfico em termos de deformação permanente, por aumentar a rigidez do ligante asfáltico.

De acordo com Al-Suhaibani *et. al* apud Amaral (2000), o filler entra nas misturas asfálticas com a responsabilidade de melhorar a estabilidade e a resistência das mesmas, devido à dois princípios: o primeiro é de que suas partículas finas, preenchendo os vazios existentes entre os agregados, aumentam a densidade e a resistência da mistura quando compactada; o outro é que as partículas finas do filler, ficando em suspensão no ligante asfáltico e absorvendo os componentes asfálticos (mastique), aumentam assim a viscosidade do ligante e, conseqüentemente, a rigidez da mistura, sendo que essas duas situações ocorrem simultaneamente.

No trabalho de Santana (1995), ele discute dois pontos de vista da influência de certo tipo de filler sobre certo tipo de asfalto, ou também chamado à influência do mastique: mastique com filler total, assim chamado sob ponto de vista de Celestino Ruiz; e mastique com o filler ativo, assim denominado sob o ponto de vista de V. P. Puzinauskas.

Segundo Ruiz, em estudos realizados na década de 40, em um mastique bem dosado todas as partículas do filler ficam em suspensão no asfalto, duas partículas não se tocando, formando um mastique homogêneo. Segundo Puzinauskas, em estudos realizados na década de 60, uma parte do filler 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 (SANTANA, 1995).

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

Se a maior parte do agregado de enchimento que passa na peneira n° 200 ($75\mu\text{m}$) é relativamente grossa (maior que $40\mu\text{m}$), 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 ligante. Se o filler for ultrafino, com percentagem significativa do material menor que $20\mu\text{m}$, e até com alguma porção menor que $5\mu\text{m}$, este material atuará muito mais no próprio ligante, incorporando-se ao cimento asfáltico e compondo um filme de ligante, envolvendo as partículas de agregados (MOTTA & LEITE, HARRIS & STUART apud MOURÃO, 2003).

Como exemplo, o uso da cal hidratada como filler 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 $20\mu\text{m}$; por outro lado o cimento tem uma distribuição muito mais contínua, com diâmetro médio de aproximadamente $60\mu\text{m}$, o pó de pedra, por sua vez, possui graduação mais grossa com grande proporção de partículas maiores que $40\mu\text{m}$ (MOURÃO, 2003).

Destacam-se algumas das observações feitas por Puzinauskas (1983) sobre os mastiques, onde foram, em experimentos, utilizados quatro diferentes tipos de filleres e um só tipo de asfalto (Figura 2.5):

- a) os filleres que aumentam a viscosidade são os que mais diminuem a ductibilidade;
- b) um aumento na quantidade de filler reduz a sensibilidade do mastique à temperatura;
- c) a viscosidade do mastique é mais influenciada pela temperatura que por mudanças na quantidade ou tipo de filler.

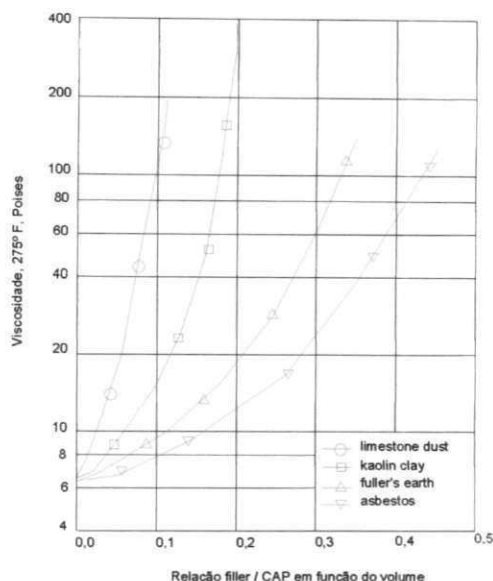


Figura 2.5 - Viscosidade cinemática para o CAP 70 (6 Poises) em função dos filleres, Kaolin Clay, Fuller's Earth e Limestone Dust em função da relação em volume de filler/CAP 70 [Fonte: Puzinauskas, 1983]

Shashidar & Shenoy (2002) realizaram estudos, utilizando modelos micro mecânicos para descrever o comportamento dinâmico do mastique, fazendo uso da teoria da percolação. De acordo com a teoria da percolação, em uma matriz com uma baixa fração volumétrica de filler, todas as partículas do mesmo estão dispersas de modo a formar uma fase contínua.

Com uma maior fração volumétrica de filler ϕ_f , há um aumento da probabilidade das partículas tocarem uma nas outras e o filler começar a se tornar percolável. Com esse aumento da fração de filler, parte da matriz fica preenchida com aglomerados de partículas que vão diminuindo progressivamente a fração de volume percolável da matriz ϕ_m . Este processo começa a ocorrer quando se atinge um valor crítico da fração volumétrica de filler ϕ_{fpt} , que é chamado de limite de percolação, variando de 0,15 a 0,30.

Existe também, um valor limite da fração volumétrica de filler que pode ser adicionado, chamado de fração volumétrica máxima de filler $\phi_{f \max}$. Este valor pode variar de 0,52 para estruturas cúbicas de partículas esféricas até 0,74 para estruturas hexagonais de partículas esféricas. Portanto, a escolha de uma adequada distribuição granulométrica pode aumentar significativamente o valor de $\phi_{f \max}$. A Figura 2.6 apresenta a dependência da rigidez em função do $\phi_{f \max}$.

Shashidar & Shenoy (2002) concluíram que a aplicação do conceito da teoria da percolação em modelos micro mecânicos faz com que os modelos se ajustem adequadamente aos resultados obtidos experimentalmente. Isto ocorre em função de vários fatores provocados pelo filler que influem na rigidez da matriz, como: forma das partículas, tamanho médio das partículas, distribuição dos tamanhos das partículas, grau de aglomeração, etc. Dessa maneira, todos esses fatores devem ser considerados em modelos micro mecânicos.

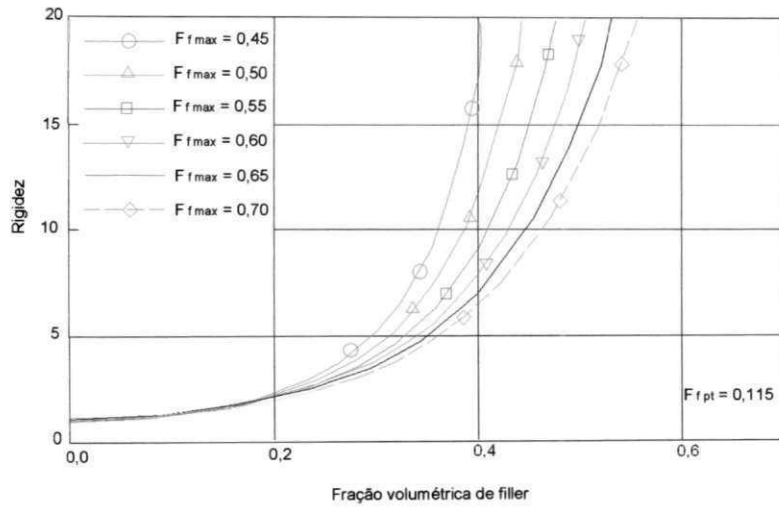
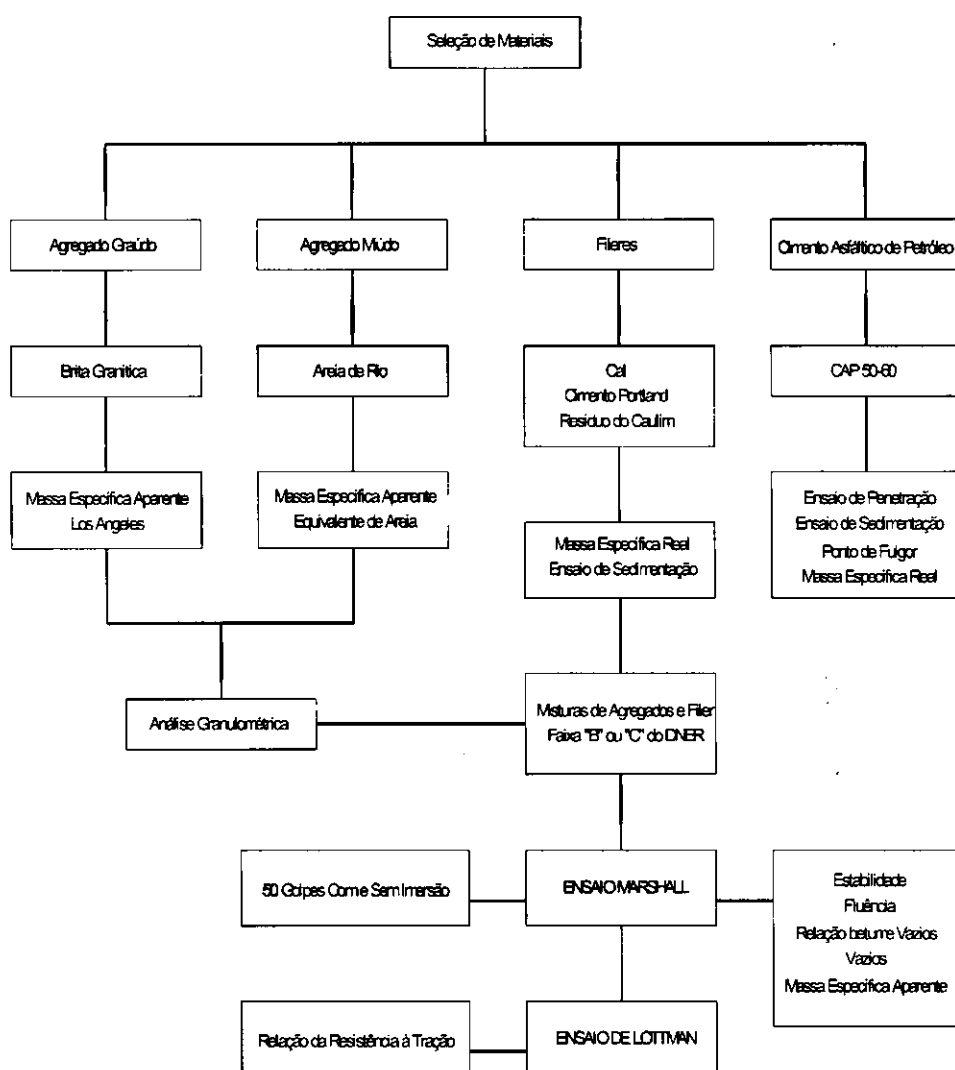


Figura 2.6 - Relação entre a rigidez e a fração volumétrica máxima dos filleres
[Fonte: Shashidar & Shenoy (2002)]

CAPÍTULO 3

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é relatado o programa experimental desenvolvido durante a pesquisa, apresentando os aspectos referentes aos materiais seleccionados e aos métodos e especificações empregados para a realização dos ensaios. O Fluxograma 3.1 apresenta a seqüência de atividades e ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa.



Fluxograma 3.1 – Fluxograma da pesquisa

3.1 - MATERIAIS

Os materiais utilizados na pesquisa constituíram de agregados graúdo e miúdo, filleres (cal, cimento portland e resíduo do caulim), e o cimento asfáltico de petróleo (CAP).

3.1.1 - Agregados graúdo

O agregado graúdo utilizado foi do tipo granítico, comumente usado na região.

3.1.2 - Agregado miúdo

O agregado miúdo usado na realização dos ensaios foi a areia de rio do tipo quartzosa, devido ao seu uso comum em obras de engenharia da região.

3.1.3 - Filleres

3.1.3.1 - Cal

A cal utilizada nesta pesquisa foi a hidratada com massa específica de $2,450 \text{ g/cm}^3$, formada exclusivamente pelo óxido de sódio (NaO) e considerada há vários anos como aditivo de adesividade agindo como inibidor do envelhecimento do asfalto. Embora o seu efeito como aditivo de adesividade possa ser minimizado, o seu efeito como inibidor de envelhecimento de asfalto, de acordo com suas pesquisas, é bastante significativo e normalmente funciona como protetor de superfície, deslocando, ao mesmo tempo, a água próxima da superfície dos agregados (LIMA, 2003). Utilizou-se a cal em todos os ensaios de misturas dessa pesquisa por proporcionar uma boa resistência aos concretos asfálticos.

3.1.3.2 - Cimento

O cimento utilizado nesta pesquisa foi do tipo portland do tipo CII Z – 32 com uma massa específica de $3,080 \text{ g/cm}^3$, sendo este material basicamente formado por uma mistura de calcário e argila, sem considerar os constituintes secundários, como: óxido de magnésio, fosfatos, álcalis, etc. Como a sua composição é constituída por silicatos e aluminatos de cálcio, e ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem o endurecimento da massa, o cimento pode não oferecer elevada resistência mecânica, devido a sua pega rápida e baixo desenvolvimento ao calor que esse material possui.

3.1.3.3 - Resíduo do caulim

No intuito de utilizar tratamentos que visam aumentar a estabilidade da mistura asfáltica e diminuir a susceptibilidade à presença de água, foi escolhido o resíduo fino do caulim para atuar como filler em

comparação com os convencionais, cimento portland e a cal.

O resíduo do caulim foi coletado da empresa CAULISA-SA, a céu aberto no Km 250 da BR 230 Paraíba, no município de Juazeirinho no estado da Paraíba. Vulgarmente denominado de “borra do caulim”, depositam-se nele expectativas de um comportamento mecânico e reológico semelhante aos produtos usualmente destinados para tal finalidade (cimento portland, cal e pó calcário) com um possível ganho de resistência, diminuindo assim as deformações permanentes no revestimento asfáltico. A Figura 3.1 apresenta o resíduo do caulim utilizado nesta pesquisa como filler nas misturas asfálticas.

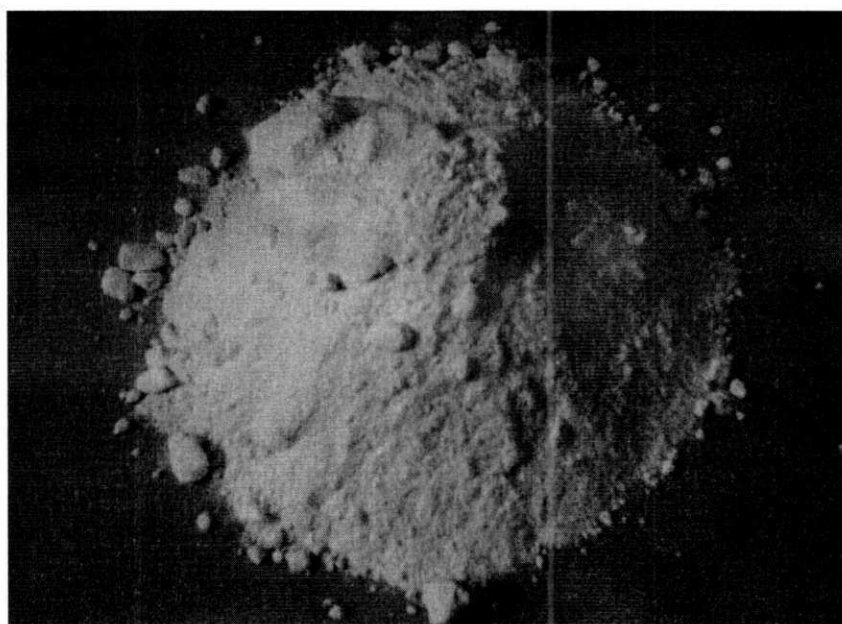


Figura 3.1 - Resíduo do caulim, utilizado na pesquisa

3.1.3.4 - Cimento asfáltico de petróleo

O CAP usado na pesquisa foi do tipo 50/60 cujas especificações estão de acordo com o DNP (Departamento Nacional de Petróleo) e a ANP (Agência Nacional de Petróleo), os quais definem parâmetros de aceitação e classificação.

3.2 - MÉTODOS

As atividades relacionadas a fase experimental foram divididas em três etapas:

Etapa 01 – Caracterização dos materiais;

Etapa 02 – Ensaio com cimento asfáltico de petróleo e filleres (mastique);

Etapa 03 – Ensaio com misturas de agregados graúdo e miúdo, filleres e CAP.

Os procedimentos utilizados nesta pesquisa foram propostos pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT, que constituiu de três etapas. A seguir, serão descritas em detalhes as etapas do experimento.

3.2.1 - Etapa 01 – Caracterização 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, gráudo 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. Onde posteriormente foi feita uma homogeneização do material através de quarteamento.

Inicialmente foram pesados, separadamente, os agregados gráudos e miúdos nas frações recomendadas de acordo com as especificações do DNIT, adotada para cada ensaio. Em seguida as frações de agregado gráudo e miúdo pesadas foram colocadas em sacos de plásticos para início da realização dos ensaios.

A caracterização física da cal e do cimento portland foi realizada com o ensaio de Análise granulométrica por 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 filleres.

A caracterização física do resíduo do caulim foi realizada com o ensaio de análise granulométrica por sedimentação, em conjunto com o ensaio para determinação das suas massas específicas. Sua distribuição dos tamanhos das partículas, também, foi obtida com o aparelho analisador de partículas por difração a laser, "granulômetro", marca cilas 1064 LD, com faixa analítica de 0,04 a 500 microns e emissores de laser secundários para uma melhor precisão na faixa do sub-mícron. Para uma completa caracterização do resíduo, foram realizadas de análise química (AQ), análise térmica (AT) e difração de raios – X.

O ensaio de análise química foi realizado com a amostra do resíduo do caulim previamente seca em estufa a uma temperatura de 110°C, e peneiramento ABNT nº200 (0,075mm) e em seguida depositada em uma bacia de alumínio.

As análises termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) foram utilizadas para se determinar às 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 do resíduo do caulim.

O material de enchimento (filler – resíduo do caulim) foi totalmente destorroado com o uso do almofariz, depois este material foi passado totalmente na peneira nº 200 para posterior pesagem e colocado juntamente em sacos plásticos junto com os agregados graúdo e miúdo.

A caracterização do cimento asfáltico de petróleo, CAP, foi realizada com dados obtidos nos seguintes ensaios: ensaio de penetração, determinação do ponto de fulgor, determinação da massa específica e ensaio de viscosidade saybolt-furol, e de acordo com as especificações das normas propostas pelo DNIT (Tabela 3.2).

Tabela 3.1 - Normas utilizadas para caracterização dos agregados e filleres utilizados na pesquisa

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

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

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 - Etapa 02 – Ensaios com Cimento Asfáltico de Petróleo e filleres (MASTIQUE)

Na tentativa de entender o comportamento da mistura asfáltica e a interação do teor de filleres com o CAP, foram realizadas ensaios de viscosidade saybolt furol e Penetração variando o percentual de filler em relação ao volume da amostra ensaiada.

3.2.2.1 - Ensaio de penetração

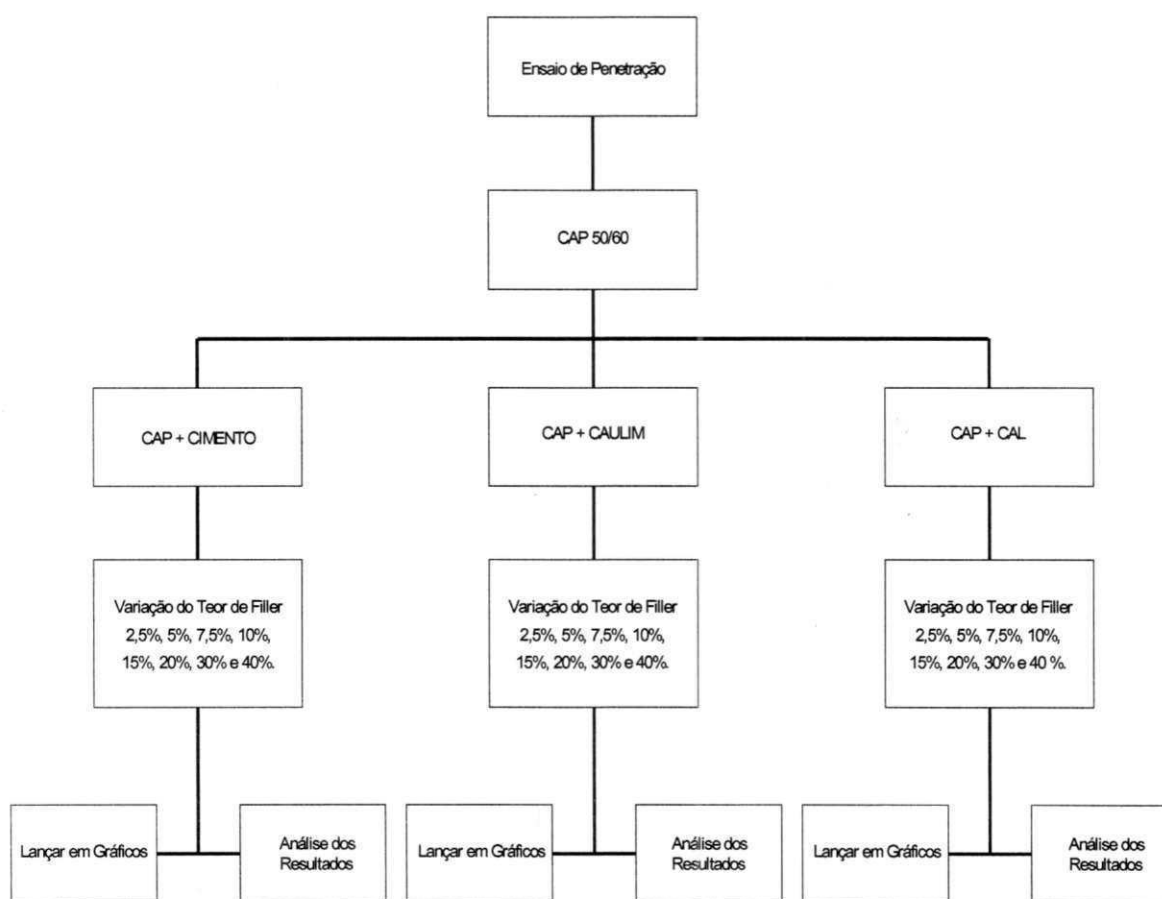
Os ensaios de penetração foram realizados em quatro etapas:

- a) Primeira etapa - penetração do cimento asfáltico de petróleo (CAP);
- b) Segunda etapa – penetração da mistura de CAP + cal, com variação do percentual de filler, em relação ao volume de CAP sugerido pela norma para o ensaio, para os valores 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 15%, 20%, 30% e 40%;

c) Terceira etapa – penetração da mistura de CAP + cimento, com variação do percentual de filler, em relação ao volume de CAP sugerido pela norma para o ensaio, para os valores 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 15%, 20%, 30% e 40%;

d) Quarta etapa – penetração da mistura de CAP + resíduo do caulim, com variação do percentual de filler, em relação ao volume de CAP sugerido pela norma para o ensaio, para os valores 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 15%, 20%, 30% e 40%.

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

3.2.2.2 - Ensaio de viscosidade saybolt furol

Os ensaios de viscosidade foram realizados em quatro etapas:

a) Primeira etapa – realização da viscosidade do cimento asfáltico de petróleo (CAP), tirando-se a média dos 02 bulbos do viscosímetro (60 ml);

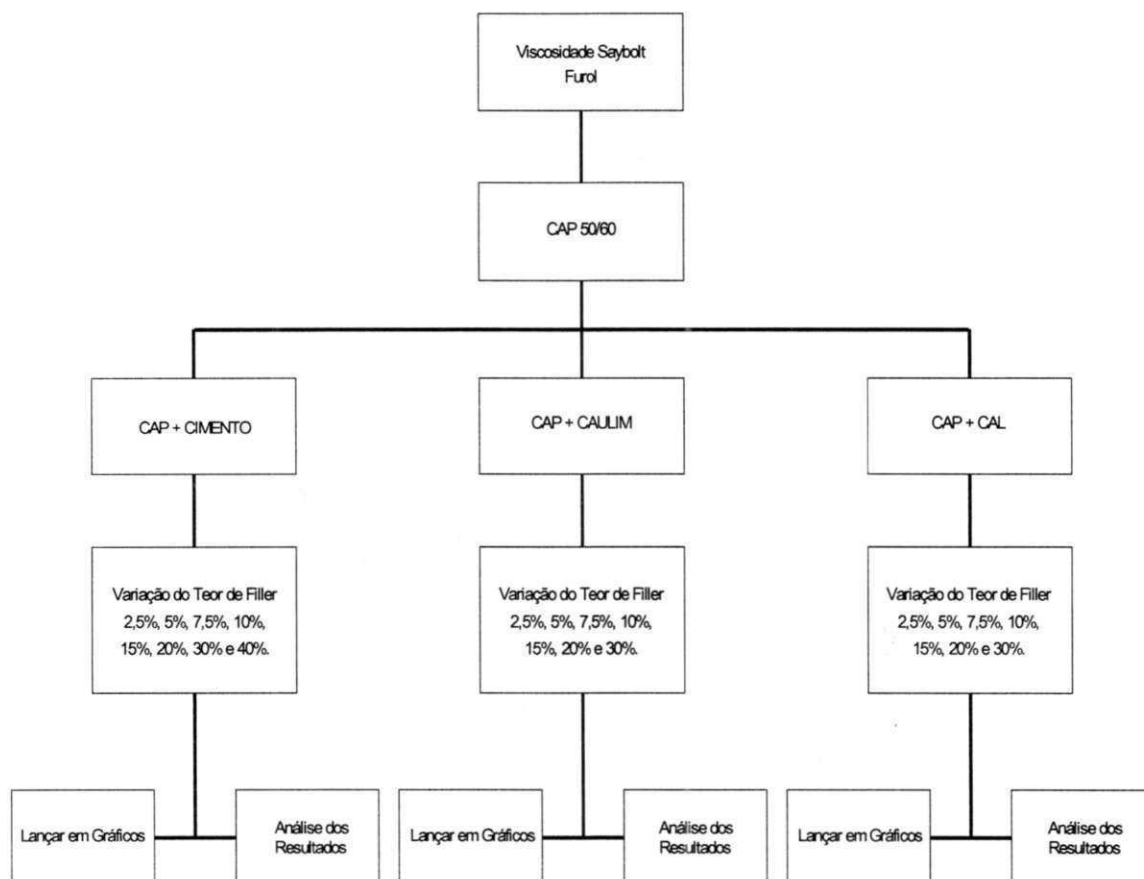
b) Segunda etapa – realização da viscosidade da mistura de CAP + cal, com variação do percentual de

filler, em relação ao volume de CAP sugerido pela norma para o ensaio, para os valores 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 15%, 20% e 30%;

c) Terceira etapa – realização da viscosidade da mistura de CAP + cimento, com variação do percentual de filler, em relação ao volume de CAP sugerido pela norma para o ensaio, para os valores 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10%, 15%, 20%, 30% e 40%;

d) Quarta etapa – realização da viscosidade da mistura de CAP + resíduo do caulim, com variação do percentual de filler, em relação ao volume de CAP sugerido pela norma para o ensaio, para os valores 10%, 15%, 20%, 25% e 30%.

O Fluxograma 3.3 apresenta a seqüência adotada para a realização dos ensaios de viscosidade saybolt-furol.



Fluxograma 3.3 - Seqüência adotada para o ensaio de viscosidade saybolt furol

3.2.3 - Etapa 03 – Ensaios com misturas de agregados graúdo e miúdo, filler e CAP

Nesta etapa foram realizados os ensaios que forneceram subsídios para análise do comportamento do resíduo do caulim como filler no concreto betuminoso usinado a quente. Para tanto, os agregados foram

misturados e estabilizados mecanicamente para apresentar uma distribuição de tamanhos das partículas que se enquadrassem dentro dos limites pré-estabelecidos na faixa "B" do DNIT (DNIT ES 313 – 97). As proporções obtidas, para os materiais escolhidos, foram: 60% de agregado graúdo, 35% de agregado miúdo e 5% de filler.

Durante esta etapa foram realizados os seguintes ensaios: ensaio Marshall e o ensaio de Lottman. A seguir, serão descritas em detalhes os dois ensaios.

3.2.3.1 - Ensaio Marshall

O Ensaio Marshall foi realizado com teor ótimo de ligante de 5%, previamente estabelecido com dosagem do traço segundo a norma da NBR 12891 (1993) (Figura 3.2). Com o intuito de observar o comportamento da mistura asfáltica, com a variação da quantidade de filleres na mistura, foram realizados ensaios Marshall com incrementos do percentual de filler em relação ao peso do corpo-de-prova de 2%, 3%, 4% e 5%.



**Figura 3.2 – Equipamentos utilizados para realização do ensaio Marshall
[Prensa Marshall – Molde Marshall – Conjunto para compactação manual]**

Para realização dos ensaios Marshall foram moldados 48 corpos-de-prova para atender as seguintes etapas do experimento:

Primeira etapa – foram moldados 12 corpos-de-prova para o filler cal, com três corpos-de-prova para cada percentual de filler, com 50 golpes de compactação e sem imersão;

Segunda etapa – foram moldados 12 corpos-de-prova para o filler cal, com três corpos-de-prova para cada percentual de filler, com 50 golpes de compactação e com imersão;

Terceira etapa – foram moldados 12 corpos-de-prova para o filler resíduo do caulim, com três corpos-de-prova para cada percentual de filler, com 50 golpes de compactação e sem imersão;

Quarta etapa – foram moldados 12 corpos-de-prova para o filler resíduo do caulim, com três corpos-de-

prova para cada percentual de filler, com 50 golpes de compactação e com imersão.

Apesar do equipamento para a realização do ensaio Marshall ser padronizado, e de existir normas que apresentam a maneira correta de como executá-lo, a NBR 12891 da ABNT, os resultados deste ensaio são influenciados por diversos fatores, os quais podemos 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 é realizada a compactação dos corpos-de-prova, as dimensões dos corpos-de-prova, as características dos equipamentos e as condições operacionais do ensaio.

Assim, para se ter um ensaio bem realizado, é necessário que antes de qualquer realização deste se verifique que se os fatores acima mencionados estão de acordo com a norma, para que com isso se possa ter um ensaio absolutamente correto e com dados que estejam dentro do limite da tolerância e que sejam empregados pelo método Marshall que são:

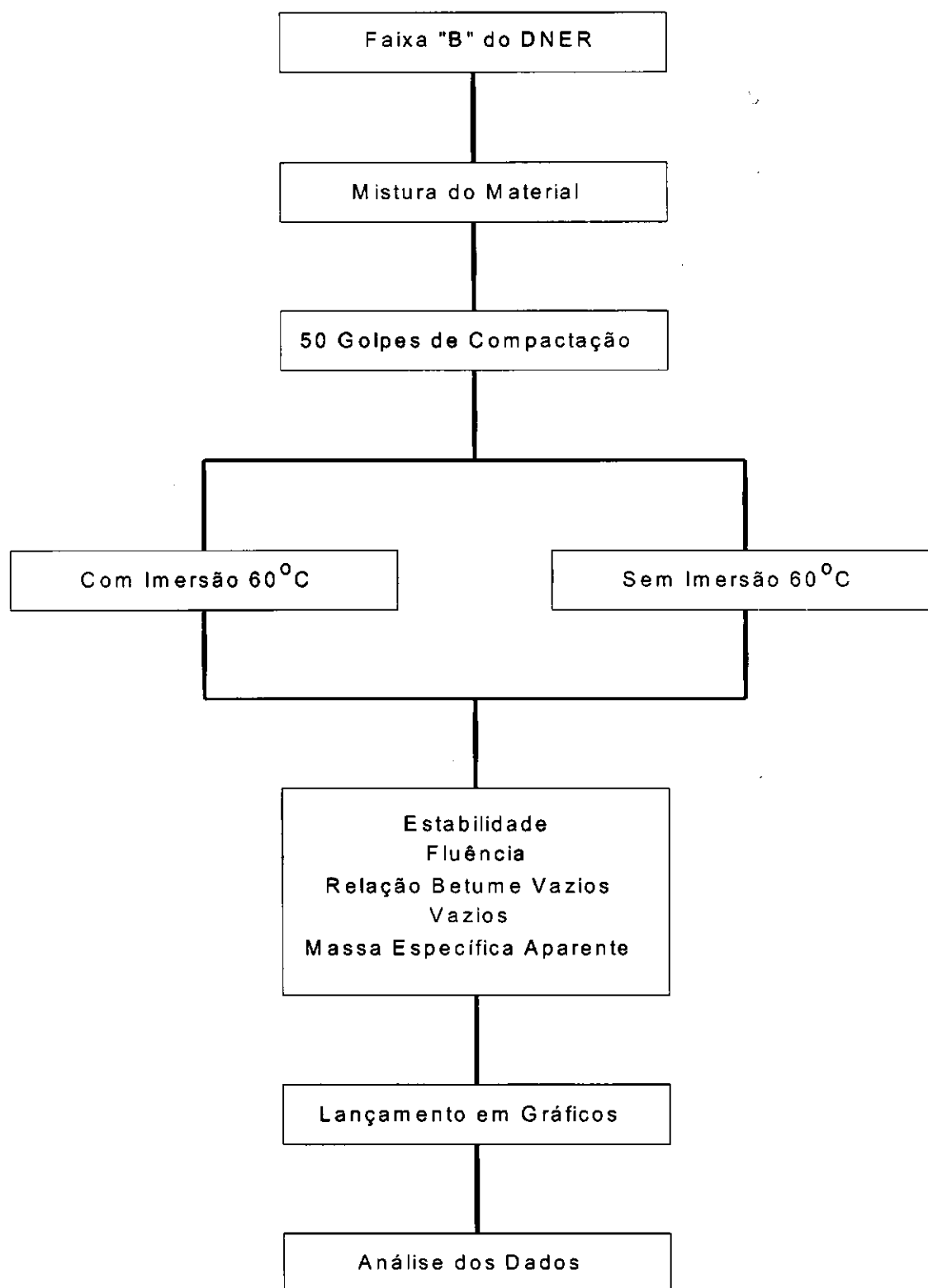
- ± 5% para a fluência Marshall;
- ± 10% para a estabilidade Marshall;
- ± 0,4% para a densidade aparente.

De acordo com Coelho (1992) a variabilidade dos 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 os parâmetros mecânicos da mistura, medidos pela (estabilidade e fluência) a dispersão é mais significativa. Ele ainda indica que os seguintes fatores irão influenciar nos resultados do método Marshall:

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

Quinta etapa – nesta etapa foi realizada a repetição das quatro primeiras etapas, citadas acima, onde foram moldados apenas quatro corpos-de-prova para cada etapa, com um corpo-de-prova para cada percentual de filler. Objetivou-se com isso, a verificação da dispersão dos resultados obtidos com o ensaio Marshall pelos dois procedimentos.

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



Fluxograma 3.4 – Seqüência adotada para o ensaio Marshall

3.2.3.2 - Ensaio de tração indireta

O ensaio com o auxílio do pórtico de Lottman foi realizado segundo o procedimento da AASHTO T 283-02, com os corpos-de-prova preparados segundo o procedimento do ensaio Marshall, com o teor ótimo de ligante de 5%, com o índice de vazios de 3 a 5%, e com a variação do percentual dos filleres, para verificar as propriedades de adesividade e o efeito deletério da água nos concretos asfálticos, a partir dos seus incrementos (Figura 3.3).



**Figura 3.3 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de tração indireta
[Bomba de vácuo - Banho maria - Pórtico de Lottman]**

Para realização do ensaio de tração indireta com o pórtico de *Lottman* foram moldados 48 corpos-de-prova para atender as seguintes etapas do experimento:

Primeira etapa - foram moldados 24 corpos-de-prova, sendo que 12 para a cal e 12 para o resíduo do caulim, com três corpos-de-prova para cada percentual de filler que variou de 2%, 3%, 4% e 5%, com 50 golpes de compactação e com 5% de teor de ligante.

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, RT1, após a imersão em água à 25°C por duas horas em sacos plásticos impermeáveis.

Segunda etapa - foram moldados 24 corpos-de-prova, sendo que 12 para a cal e 12 para o resíduo do caulim, com três corpos-de-prova para cada percentual de filler com variação de 2%, 3%, 4% e 5%, com 50 golpes de compactação e com 5% de teor de ligante.

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, RT2.

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

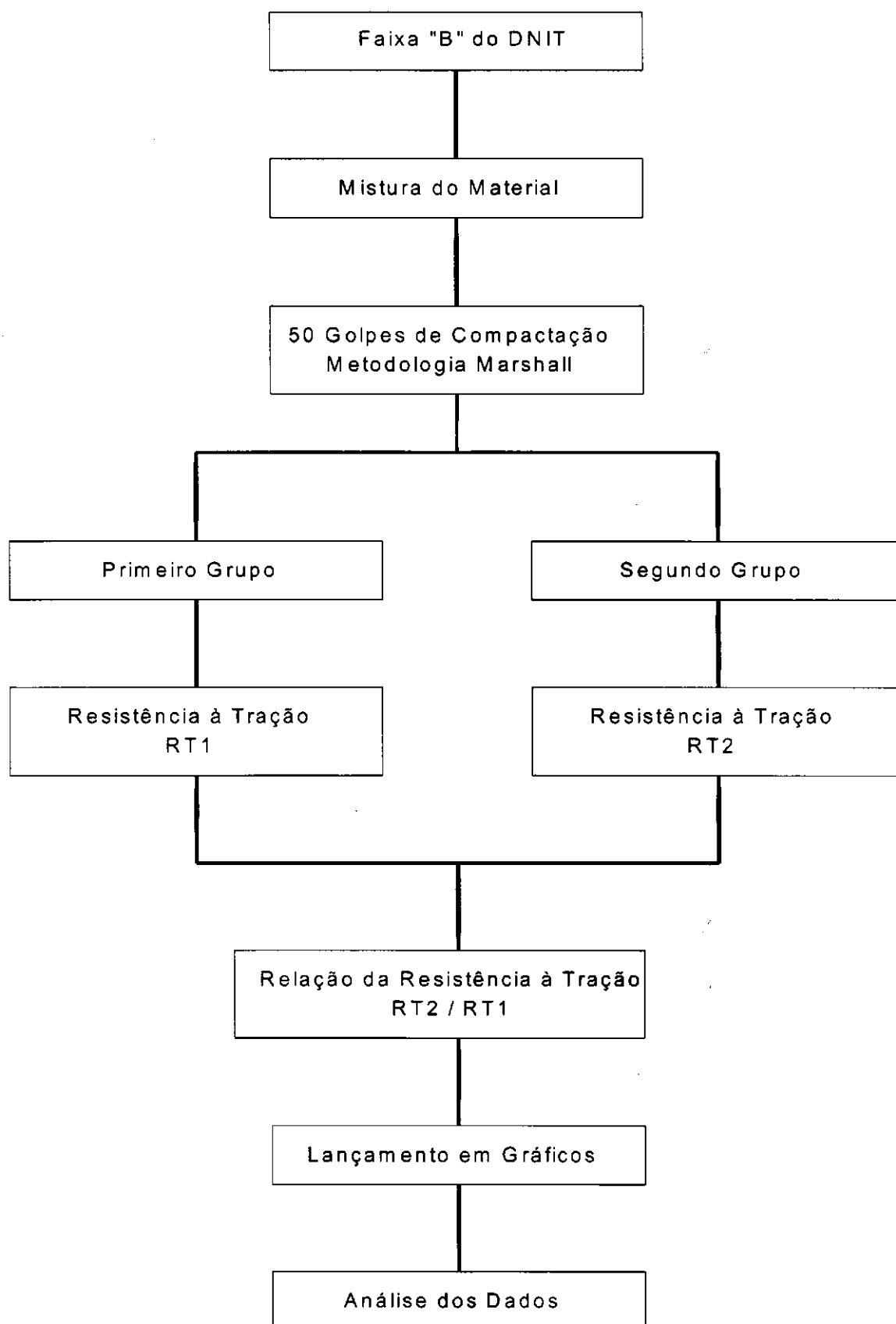
15 a 18 horas em sacos plásticos;

- 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 RT1 e RT2 foram determinados os valores da relação de resistência à tração, RRT que é calculada pela razão entre RT2 e RT1. Por definição a RRT indica, em termos percentuais, o desempenho da mistura asfáltica à adesividade e por consequência à susceptibilidade a presença da água. A metodologia SUPERPAVE (Superior Performance Pavement) recomenda valores acima de 80%.

Terceira etapa – nesta etapa foi realizada a repetição das duas primeiras etapas, citadas acima, onde foram moldados apenas oito corpos-de-prova para cada etapa, com um corpo-de-prova para cada percentual de filler. Objetivou-se com isso, a verificação da dispersão dos resultados obtidos com o ensaio com o *pórtico de Lottman* pelos dois procedimentos.

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



Fluxograma 3.5 – Sequência para realização dos ensaios com o auxílio do pórtico de Lottman

CAPÍTULO 4

4 - RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados do experimento obtidos com a realização dos ensaios de caracterização dos filleres, do CAP e dos ensaios Marshall e tração indireta modificada de *Lottman* para a mistura asfáltica.

4.1 - CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 - Distribuição dos tamanhos dos grãos dos filleres

As partículas que compõem a amostra do resíduo do caulim apresentam diâmetros máximos das partículas inferiores a 75 μm . A obtenção da distribuição dos tamanhos das partículas por peneiramento não foi necessária, pois a amostra passou totalmente por todas as peneiras empilhadas em ordem decrescente de abertura da malha, que compõem o ensaio por peneiramento.

A seguir, na Tabela 4.1, estão apresentados os resultados da distribuição do tamanho das partículas do resíduo do caulim, que foram obtidos a partir do ensaio por sedimentação com defloculante hexametáfosfato de sódio.

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

Diâmetro Médio das Partículas (μm)	71	51	36	25	18	13
Massa que passa (%)	89,71	84,17	84,17	84,17	84,17	78,36
Diâmetro Médio das Partículas (μm)	09	07	05	03	02	01
Massa que passa (%)	73,10	62,02	50,95	34,33	25,47	12,18

A partir dos resultados obtidos, segundo o método do DNIT (ME 051 – 94) que normativa o ensaio da distribuição dos tamanhos das partículas, foram lançados em gráfico os respectivos pontos das distribuições do filler resíduo de caulim (Figura 4.1).

Observa-se que o resíduo do caulim atende as especificações do DNIT quanto aos diâmetros das partículas, ou seja, é filler. Em sua maior parte, cerca de 80% do resíduo do caulim apresentaram diâmetro menor que $20\mu\text{m}$. Essa informação indica que haverá uma interação maior com o CAP que com os agregados.

A cal hidratada e o cimento portland apresentaram massa específica aparente de $2,450\text{ g/cm}^3$ e de $3,080\text{ g/cm}^3$ respectivamente, (ME 093 - 94).

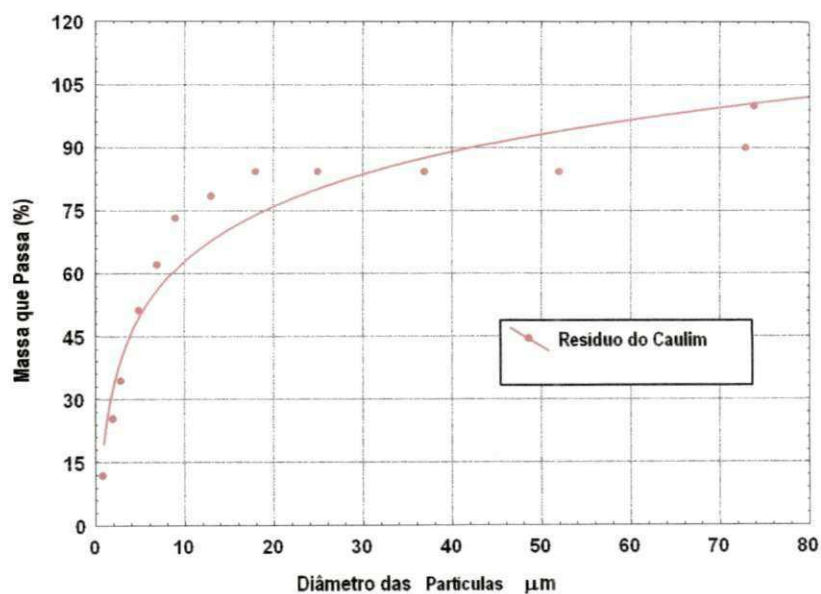


Figura 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do caulim [que passa na #200] obtida por Sedimentação

As caracterizações físicas do resíduo do caulim, do material que passa na peneira ABNT nº 200 e da matéria bruta (denominada borra), 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. Os resultados apontam para uma pequena diferença entre as distribuições, o que implica que o resíduo do caulim que passa na peneira ABNT nº 200 e a borra, pode ser considerado um filler e, portanto, não há a necessidade de peneiramento antes de misturá-lo ao concreto betuminoso.

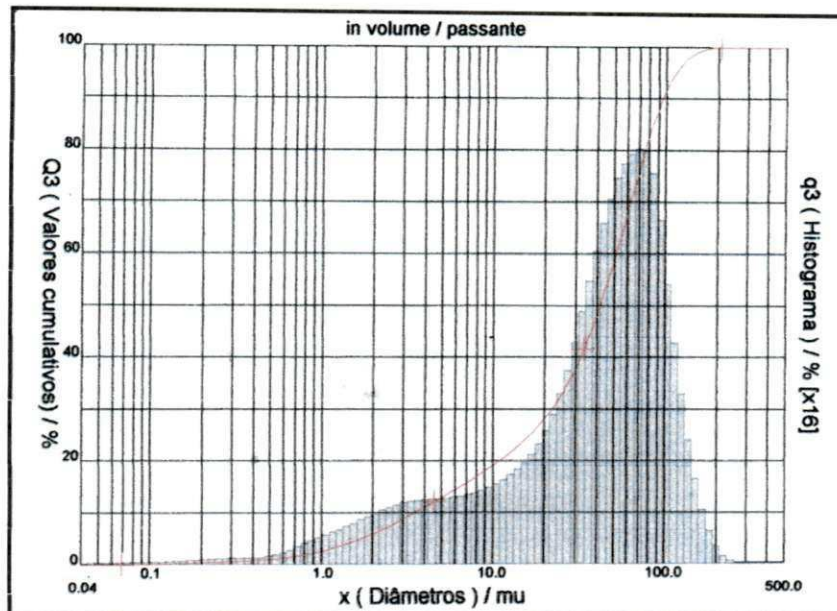


Figura 4.2 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do caulim [que passa na peneira ABNT nº 200] obtida por difração a laser

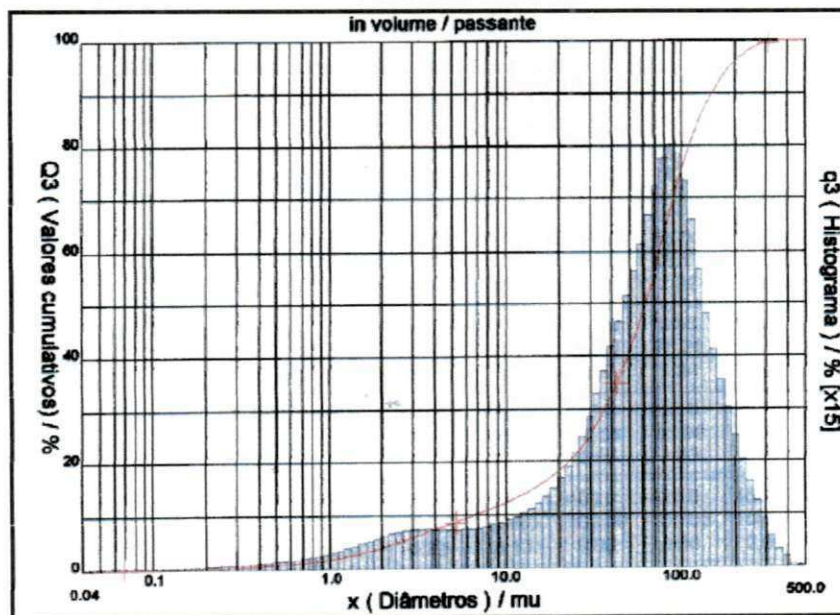


Figura 4.3 - Distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo do caulim [Borra] obtida por difração a laser

4.1.2 - Teor de umidade higroscópica do resíduo do caulim

O teor de umidade higroscópica para o resíduo do caulim, definido como a razão do peso da água (P_a) presente na amostra pelo peso do material sólido (P_s), é apresentado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Umidade do resíduo do caulim

Cap.	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h (%)	h(%) média
AL-02	65,12	64,71	13,94	50,71	0,41	0,81	0,80
AL-31	61,88	61,51	14,25	47,26	0,37	0,78	0,80

O valor obtido para a amostra de resíduo do caulim utilizado na pesquisa foi de 0,80%, em média.

4.1.3 - Massa específica real do resíduo do caulim

Na Tabela 4.3 estão inseridos os resultados obtidos, para a amostra do resíduo do caulim, do ensaio da massa específica real dos grãos.

Tabela 4.3 – Massa específica real dos grãos do resíduo do caulim

Resíduo do caulim	Massa específica real (g/cm ³)	Desvio padrão (g/cm ³)
	2,543	± 0,0005

4.1.4 - Análise química do caulim

Para uma completa caracterização do resíduo do caulim, foi realizada análise química (AQ). A Tabela 4.4 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 4.4 - 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

[Fonte: Laboratório de análises Minerais / LAM-UFCG, (2004)]

4.1.5 - Difração de raios – x do resíduo do caulim

Os resultados obtidos com o ensaio de difração de raios-x, bem como as suas especificações, estão contidos na Figura 4.4. Os resultados apresentaram 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.

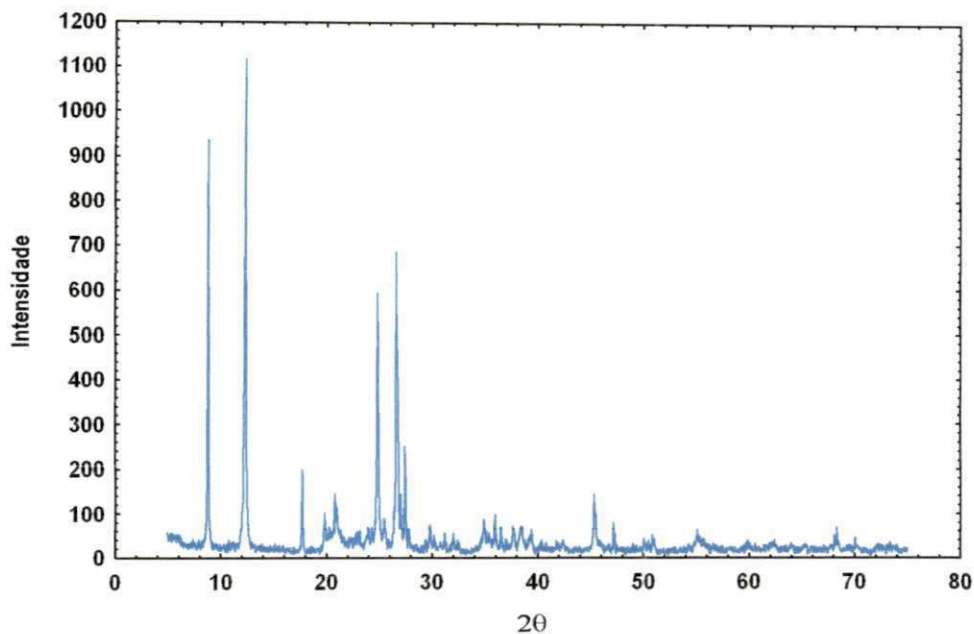


Figura 4.4 - Difração de raios-x do resíduo do caulim.

4.1.6 - Análise termogravimétrica e termodiferencial do resíduo do caulim

A Figura 4.5 apresenta as curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica do resíduo de caulim. As curvas de ATD, contidas na Figura 4.5, 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 ATG, contidas na Figura 4.5, apresentam perda de massa total de 9,12%, correspondente à perda de água livre e perda de hidroxilas.

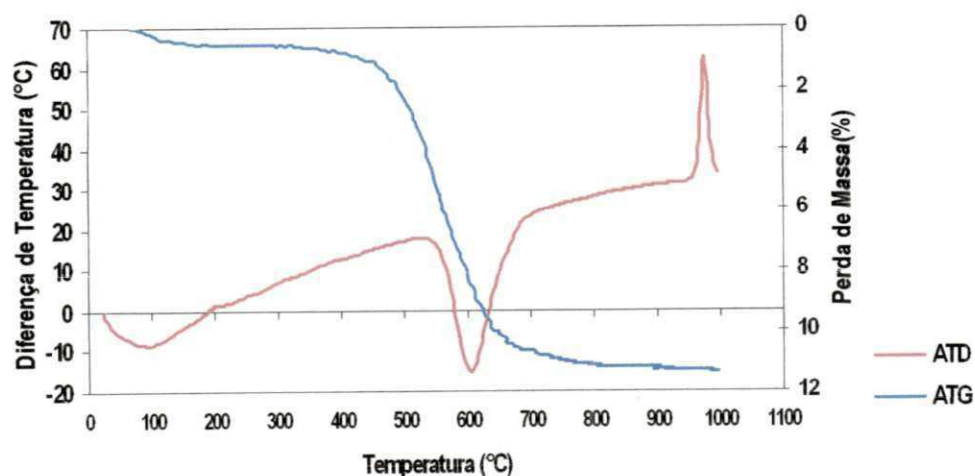


Figura 4.5 - Curvas termodiferencial e termogravimétrica do resíduo do caulim

4.1.7 - Ensaio de caracterização do cimento asfáltico de petróleo (CAP)

Os resultados dos ensaios de caracterização do CAP estão apresentados na Tabela 4.5. De acordo com as especificações DNIT, em vigor, que definem parâmetros de aceitação e classificação, o ligante apresentou características necessárias para ser classificado como do tipo 50/60.

Tabela 4.5 - Ensaios de caracterização do CAP

ENSAIOS	VALOR
Penetração (100g, 5s à 25 ^o C)	58
Ponto de fulgor (^o C, min)	295
Viscosidade saybolt furol (135 ^o C, s)	280

4.1.8 - Características físicas do agregado graúdo utilizado na pesquisa

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 2,670 g/cm³.

4.1.9 - Características físicas do agregado miúdo utilizado na pesquisa

O agregado miúdo utilizado foi do tipo a areia do tipo quartzosa (DNIT – ME 084/94) apresentando diâmetro máximo de 4,75 mm e massa específica aparente de 2,590 g/cm³.

4.2 - ENSAIOS COM O CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO E FILLERES [MASTIQUE]

Para o estudo do comportamento mecânico da mistura asfáltica e da interação do filler/CAP, com os incrementos dos filleres ao CAP, foram realizados os ensaios de viscosidade saybolt furol e de penetração. Os resultados e as suas respectivas análises são descritos e relatados a seguir.

4.2.1 - Ensaio de penetração

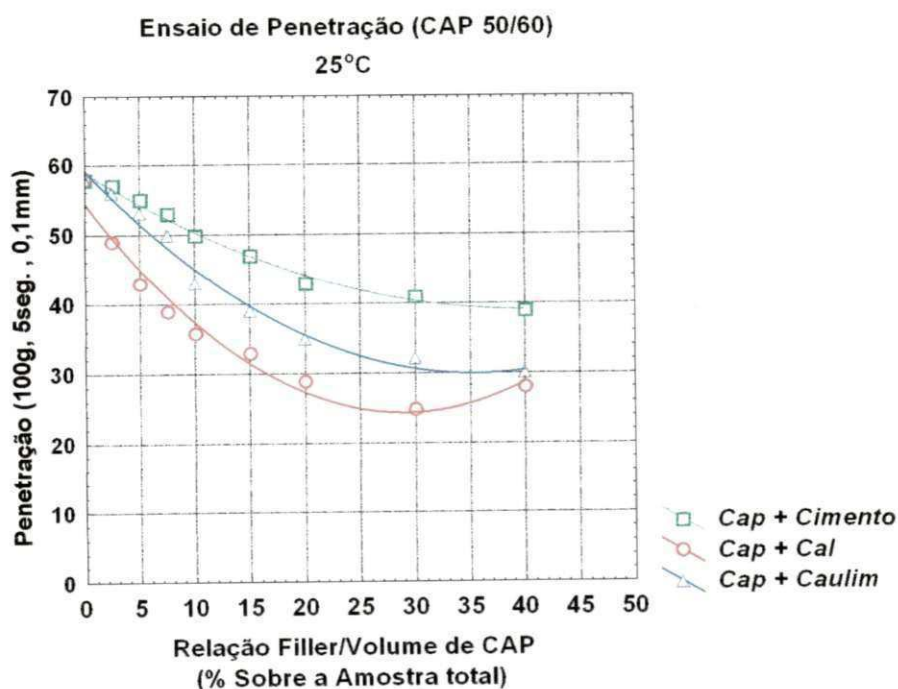
Os resultados obtidos com a realização do ensaio de penetração estão apresentados na Tabela 4.6.

Os resultados alcançados na realização do ensaio de penetração foram lançados em gráfico, onde são apresentadas as variações do valor da penetração em função da variação dos incrementos de filleres, em termos percentuais, em relação ao CAP de acordo com o volume da amostra utilizada na execução do ensaio (DNIT – ME 003/99).

Tabela 4.6 - Resultados obtidos para a penetração nas misturas CAP + filler

Percentagem de filler/ Vol. CAP	Penetração (100gr, 5seg, 0,1"mm - CAP 50/60)		
	CAP + resíduo	CAP + cal	CAP + cimento
0	58	58	58
2,5	56	49	57
5,0	53	43	55
7,5	50	39	53
10,0	43	36	50
15,0	39	33	47
20,0	35	29	43
30,0	32	25	41
40,0	30	28	39

O procedimento adotado permitiu a análise comparativa do comportamento do "mastique" com os incrementos dos teores de filleres (Figura 4.6). Os valores da penetração apresentaram tendências decrescentes segundo um modelo polinomial quadrático (Figura 4.6). Essas tendências indicam que o acréscimo da quantidade de filler ao CAP provoca uma diminuição no valor da penetração, ou seja, o acréscimo dos filleres provoca um aumento na viscosidade do mastique.

**Figura 4.6 - Valor da penetração em função da variação dos incrementos de percentuais dos filleres**

4.2.2 - Ensaio de viscosidade saybolt furol

Os resultados dos ensaios de viscosidade saybolt furol estão inseridos na Tabela 4.7. Os resultados alcançados indicam que o comportamento do resíduo do caulim apresenta comportamento semelhante aos dos filleres convencionais (Figura 4.7).

Tabela 4.7 - Resultados obtidos para a viscosidade saybolt furol

Percentagem de filler / Vol.CAP	Viscosidade Saybolt Furol (135°C), tempo em (s).		
	CAP + cimento	CAP + resíduo	CAP + cal
0,00	320	320	320
0,03	272	252	352
0,05	305	355	360
0,08	326	469	425
0,10	366	500	422
0,15	430	552	480
0,20	560	617	597
0,30	628	1138	949
0,40	876	-	-

Os resultados alcançados na realização do ensaio de viscosidade saybolt furol para a mistura entre o CAP e os filleres foram plotados 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 filleres apontam, de maneira análoga aos resultados obtidos com o ensaio de penetração, para um aumento da viscosidade do mastique com o incremento dos filleres (Figura 4.7). Os valores da viscosidade saybolt furol apresentaram tendências crescentes segundo um modelo polinomial quadrático.

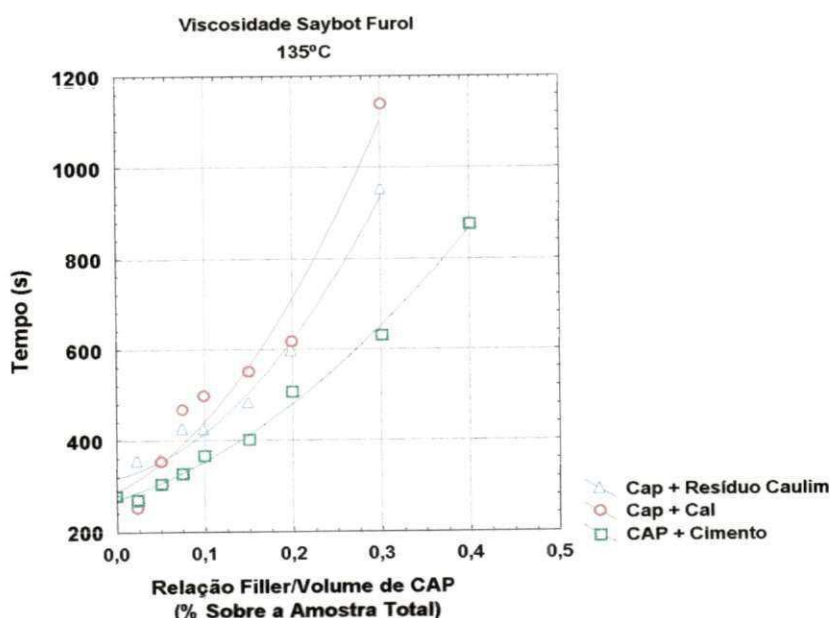


Figura 4.7 - Viscosidade saybolt furol em função da variação dos incrementos dos filleres

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

4.3.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados e dos filleres

Os componentes da mistura apresentaram uma distribuição dos tamanhos das partículas que se enquadrou dentro dos limites pré-estabelecidos no domínio da faixa "B" do DNIT (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos agregados graúdos, miúdos e "filler"

PENEIRAS	PORCENTAGEM PASSANDO								
	BRITA		AREIA		FILLER		COMBIN. RESULT.	ESPECIFICAÇÃO Faixa "B"	
	TOTAL	60%	TOTAL	35,0%	TOTAL	5%		PT. MED.	LIMITES
1 1/2"	100,00	60,00	100,00	35,00	100,00	5,00	100,00	100	100
1"	100,00	60,00	100,00	35,00	100,00	5,00	100,00	97,5	95-100
3/4"	94,77	56,86	100,00	35,00	100,00	5,00	96,86	90	80-100
1/2"	34,93	20,96	100,00	35,00	100,00	5,00	60,96	—	—
3/8"	8,72	5,23	99,80	34,93	100,00	5,00	45,16	62,5	45-80
Nº 4	0,23	0,14	98,15	34,35	100,00	5,00	39,49	44	28-60
Nº 10	0,08	0,05	93,32	32,66	100,00	5,00	37,71	32,5	20-45
Nº 40	0,03	0,02	48,42	16,95	100,00	5,00	21,97	21	10-32
Nº 80	0,01	0,01	10,77	3,77	100,00	5,00	8,78	14	8-20
Nº 200	0,00	0,00	2,00	0,70	97,50	4,88	5,58	5,5	3-8

4.3.2 - Dosagem do ligante

A dosagem do ligante foi realizada visando estabelecer o teor de asfalto ideal a ser utilizado para a moldagem dos corpos-de-prova do experimento. Sua estimativa foi realizada com a análise dos parâmetros do ensaio Marshall, a qual indicou para o valor percentual de 5% de CAP. Os resultados deste experimento encontram-se inseridos no Anexo A.

4.3.3 - Ensaio Marshall

Nesta fase foram moldados corpos-de-prova Marshall com as seguintes composições: agregados graúdos e miúdos (faixa "B"), 5% de ligante, e incrementos com variação de 2%, 3%, 4% e 5% dos filleres cal e resíduo do caulim.

4.3.3.1 - Estabilidade

Na Figura 4.8 e na Figura 4.9 estão inseridos os resultados obtidos para a estabilidade Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e do resíduo do Caulim, respectivamente. As respectivas curvas ilustram, também, os comportamentos da estabilidade Marshall em

função dos incrementos dos filleres obtidos para os corpos-de-prova submetidos à imersão e sem imersão.

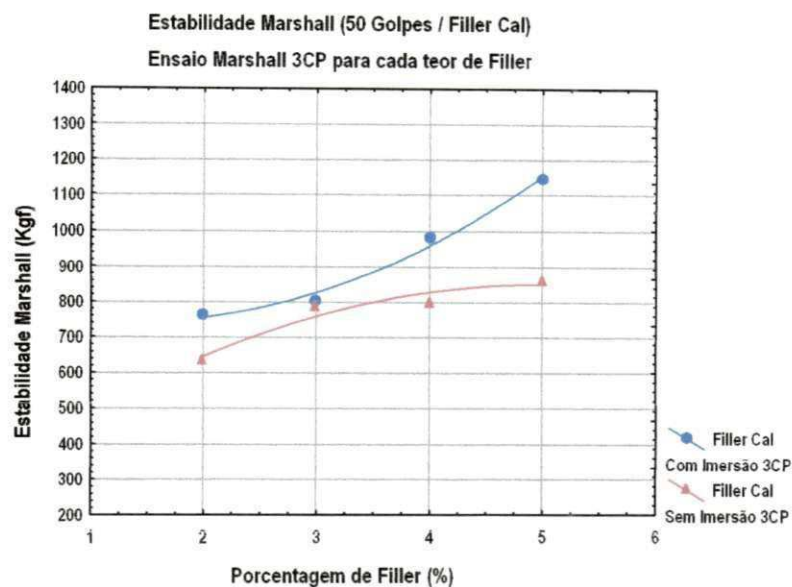


Figura 4.8 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler cal [com e sem imersão/3CP]

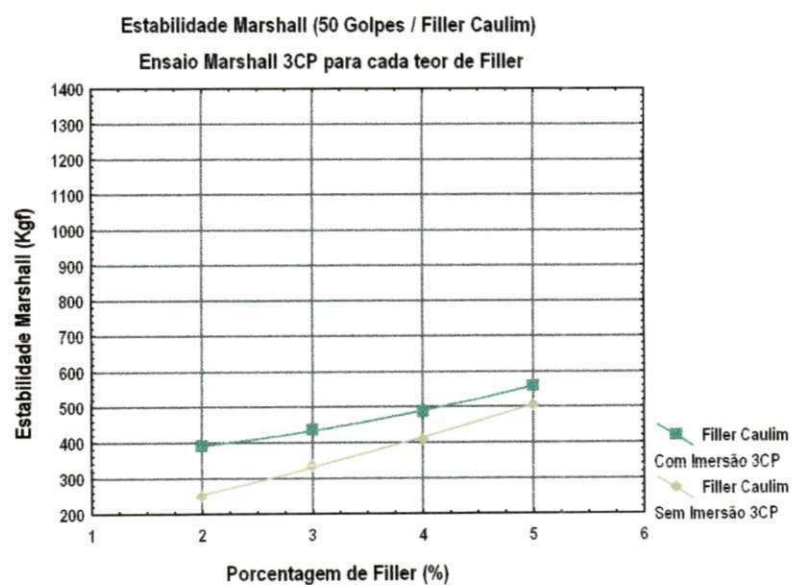


Figura 4.9 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP]

Na Figura 4.10 estão inseridas todas as curvas de estabilidade em função dos percentuais de filleres, cal e do resíduo do caulim, respectivamente. Os valores de estabilidade apresentaram para ambos os filleres, tendências crescentes com o aumento na quantidade de filler.

De acordo com RUIZ (1959) apud Souza (2001) "... num sistema filler-asfalto, ao aumentarmos a quantidade de Filler, as partículas tendem a aproximar-se, diminuindo os poros, tendendo a formar uma estrutura que vai tornar o mastigue rígido, tornando-o frágil e quebradiço (concentração crítica)". A estabilidade mínima exigida, pelo método de ensaio ME 43/64 do DNIT é de 250 kgf para 50 golpes, foi alcançada para todos os materiais utilizados.

O incremento do filler cal, segundo os resultados obtidos, teve como consequência um aumento considerável da estabilidade, quando comparado com os mesmos percentuais do filler resíduo do caulim.

Os resultados indicam que o filler do resíduo do Caulim, quando comparado ao filler Cal, proporciona um aumento de estabilidade à mistura sem torná-la excessivamente rígida e, portanto, abaixo da concentração crítica o que a torna frágil e quebradiça.

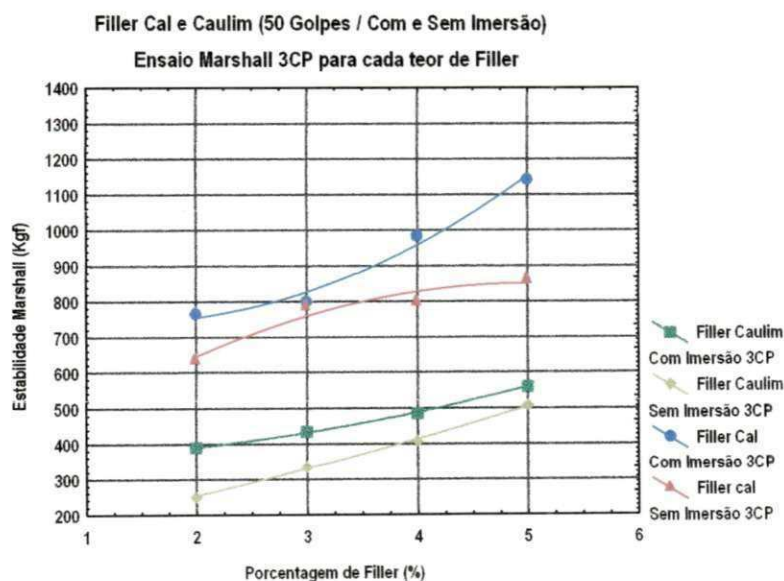


Figura 4.10 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP]

Os resultados obtidos, a partir da imersão dos corpos-de-prova para ambos os filleres, indicam um aumento no valor da estabilidade evidenciando um caráter negativo da presença de água no interior das misturas asfálticas. A susceptibilidade das misturas asfálticas ocasiona um incremento no valor da estabilidade, tornando a estrutura do corpo-prova mais rígida e conseqüentemente mais quebradiça.

O comportamento mecânico dos corpos-de-prova quando utilizado o filler cal, observada a variação da estabilidade Marshall, foi superior aos que utilizaram o resíduo do caulim, principalmente após imersão dos

corpos-de-prova.

Na Figura 4.11 estão inseridos os resultados obtidos para a estabilidade Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e o resíduo do caulim, respectivamente, porém com a utilização de um corpo-de-prova para cada ponto, ao invés de três.

Fica evidenciado a dispersão dos resultados obtidos com o procedimento e/ou equipamento Marshall, e que independem do tipo de filler.

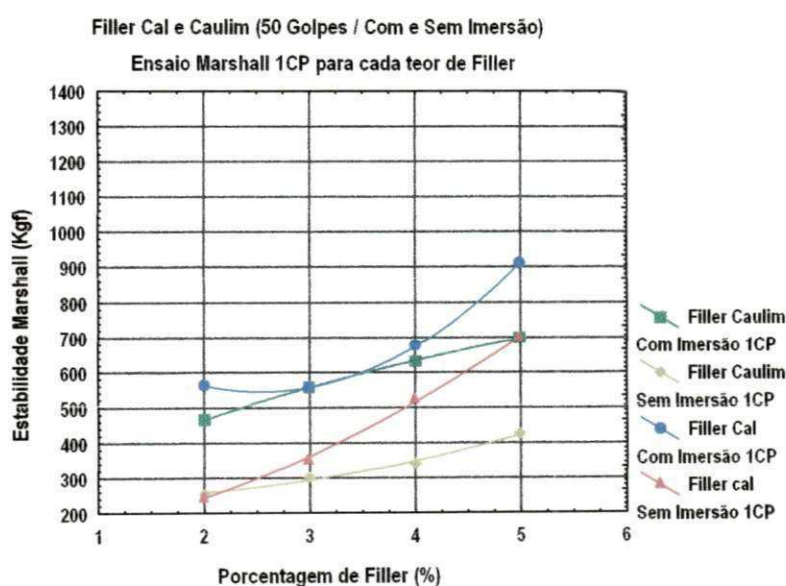


Figura 4.11 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e resíduo do caulim [com e sem imersão/1CP]

Na Figura 4.12 são lançados em gráficos, em conjunto, os resultados da estabilidade Marshall em função do percentual de filler da Cal para os corpos-de-prova (3CP e 1CP) submetidos à imersão e sem imersão. Estes resultados apontam para uma dispersão significativa que pode ser ocasionada pelo o procedimento e/ou pelo equipamento Marshall, e para a real necessidade da repetição, ponto a ponto, do ensaio de no mínimo três amostras.

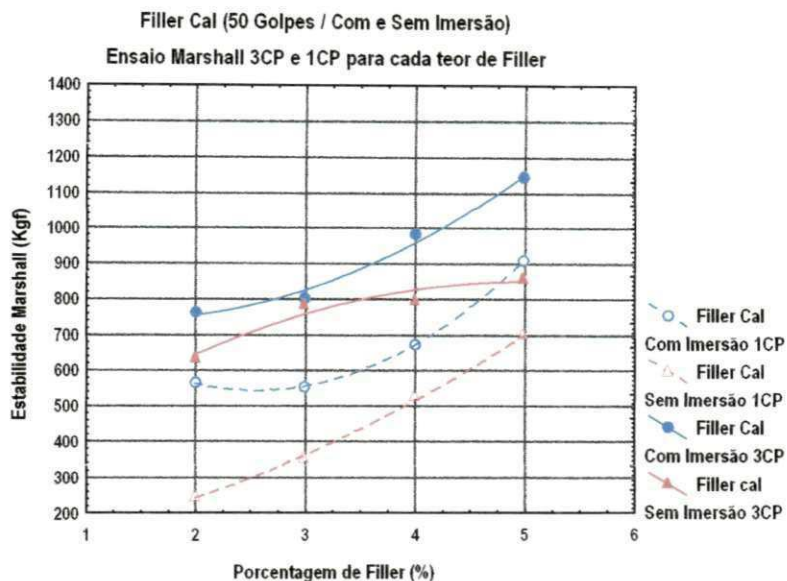


Figura 4.12 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler cal [com e sem imersão/3 CP e 1CP]

Na Figura 4.13 são apresentados, em conjunto, os resultados da estabilidade Marshall em função do percentual de filler do resíduo do caulim para os corpos-de-prova (3CP e 1CP) submetidos à imersão e sem imersão. De maneira análoga, ao que ocorreu quando foi utilizado o filler cal, os resultados foram dispersos. Podemos inferir que, independente do tipo de filler, a dispersão continua e se deve ou ao procedimento e/ou ao equipamento Marshall.

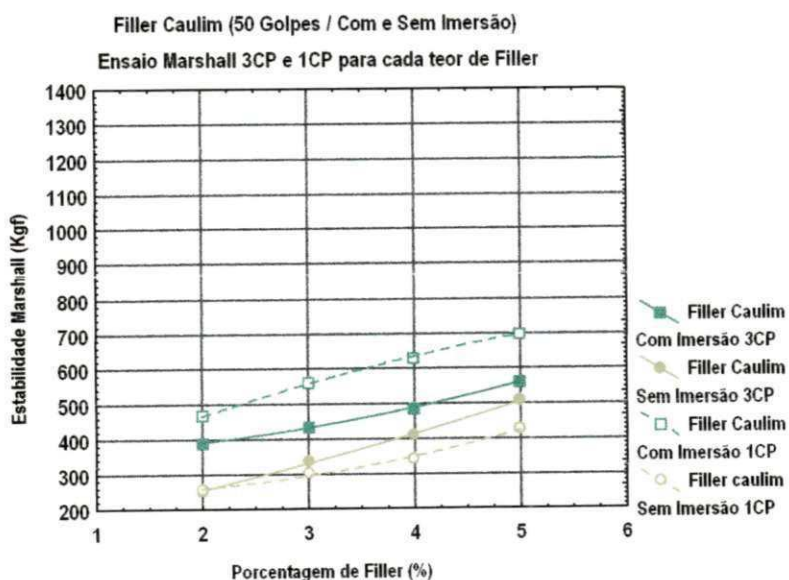


Figura 4.13 - Estabilidade Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP e 1CP]

4.3.3.2 - Fluência

Na Figura 4.14 e na Figura 4.15 estão inseridos os resultados obtidos para a fluência Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e o resíduo do caulim, respectivamente.

As curvas contidas na Figura 4.14 e na Figura 4.15 ilustram, também, os resultados da fluência Marshall alcançada para corpos-de-prova submetidos à imersão e sem imersão. Na Figura 4.16 estão inseridas todas as curvas de fluência em função dos percentuais de filleres, cal e resíduo do caulim, respectivamente.

Os resultados obtidos demonstram o aumento da fluência Marshall dos corpos-de-prova submetidos à imersão e que continham o filler cal. Em contra ponto, ocorre uma diminuição da fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler do resíduo do caulim.

Especificamente, para o ponto com o percentual de 3% de filler, em ambos os casos, há um ponto de inflexão da fluência Marshall que não foi detectada a causa.

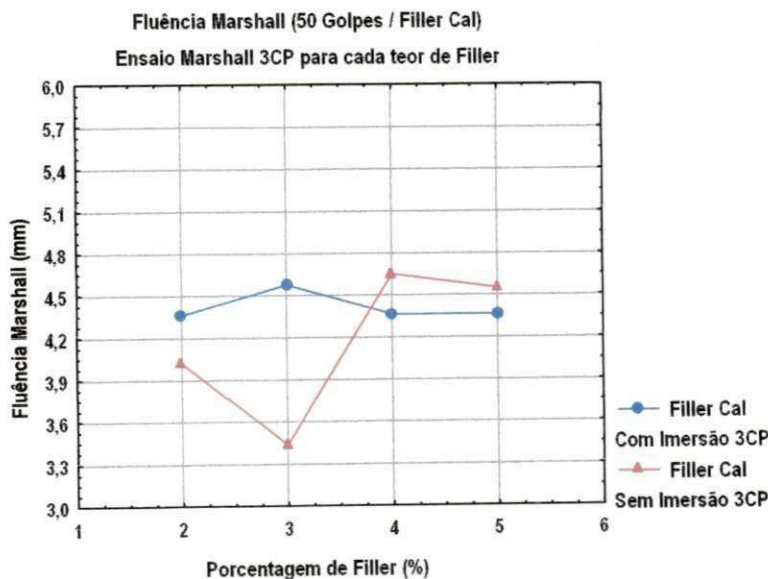


Figura 4.14 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler cal [com e sem imersão/3CP]

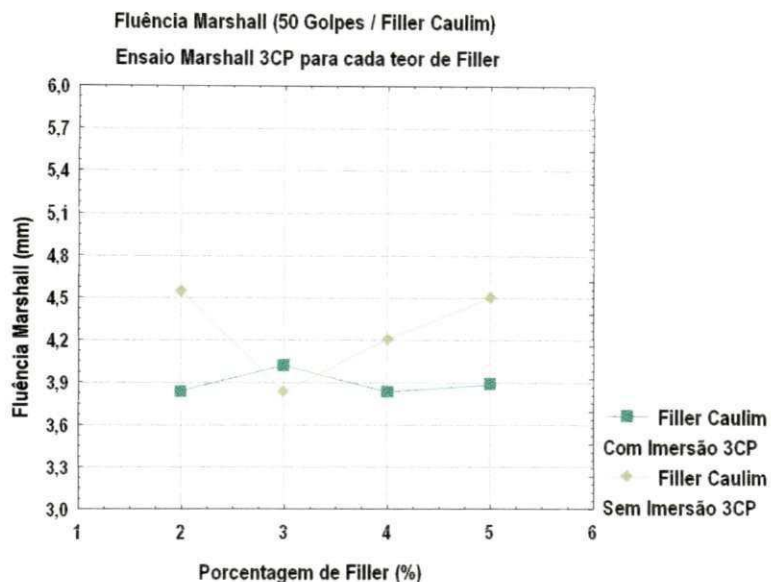


Figura 4.15 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP]

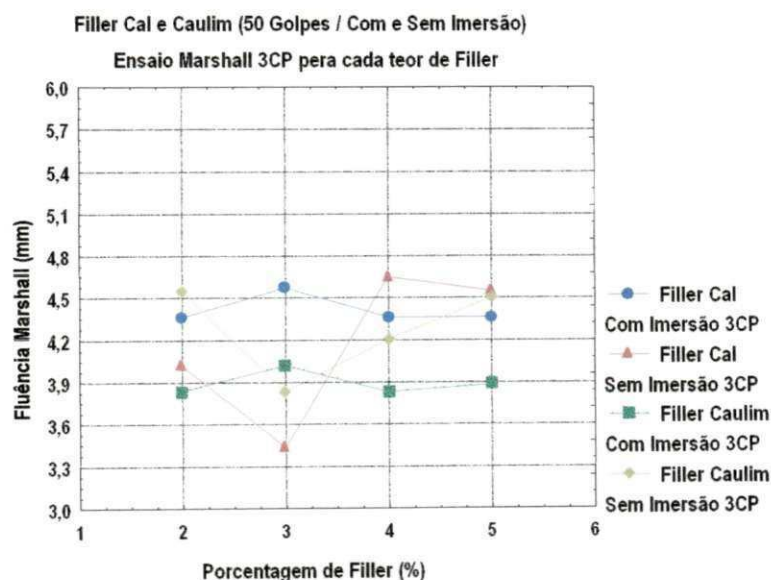


Figura 4.16 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP]

Na Figura 4.17 estão inseridos os resultados obtidos para a fluência Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e o resíduo do caulim, respectivamente. Neste caso, foi utilizado apenas um corpo-de-prova para cada ponto, ao contrário do que ocorreu na etapa anterior do experimento, ou seja, três corpos de prova.

As curvas contidas na Figura 4.17 ilustram os resultados da fluência Marshall obtida para os corpos-de-prova submetidos à imersão e sem imersão.

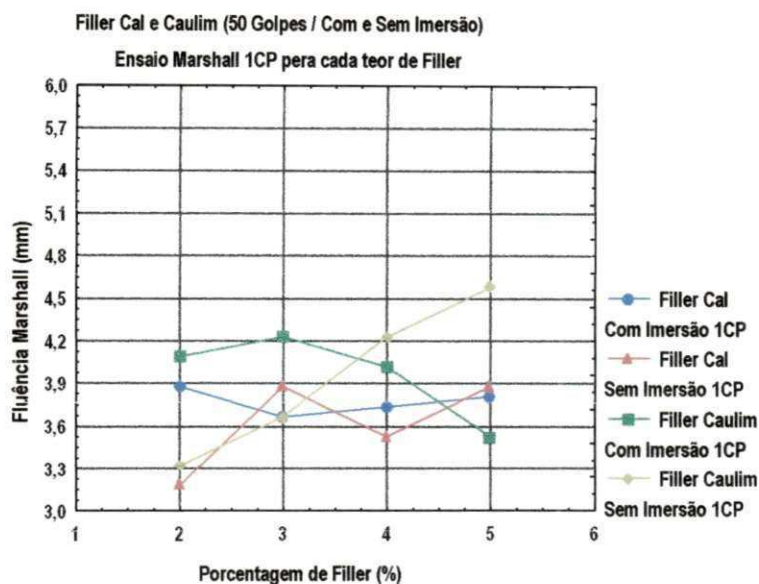


Figura 4.17 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e resíduo do caulim [com e sem imersão/1CP]

Na Figura 4.18 são apresentados, em conjunto, os resultados da fluência Marshall em função do percentual de filler da cal para os corpos-de-prova (3CP e 1CP) submetidos à imersão e sem imersão.

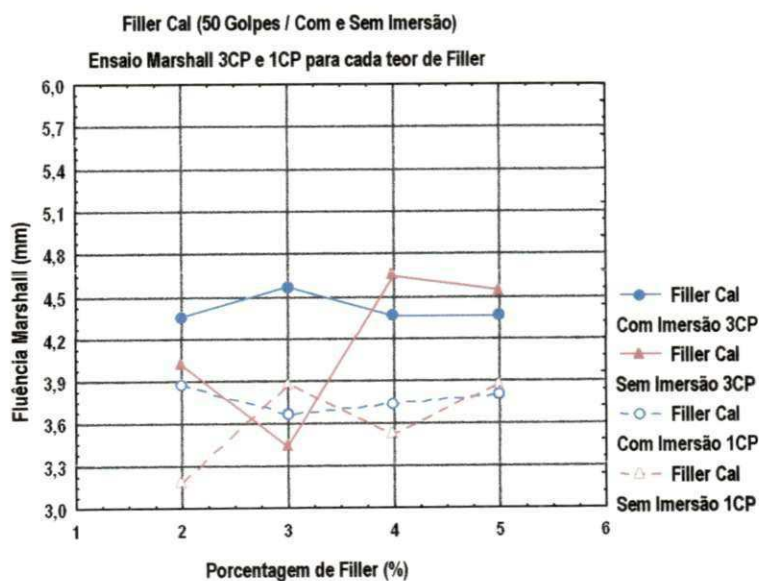


Figura 4.18 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler cal [com e sem imersão/3 CP e 1CP]

Na Figura 4.19 são apresentados, em conjunto, os resultados da fluência Marshall em função do percentual de filler do resíduo do caulim para os corpos-de-prova (3CP e 1CP) submetidos à imersão e sem imersão.

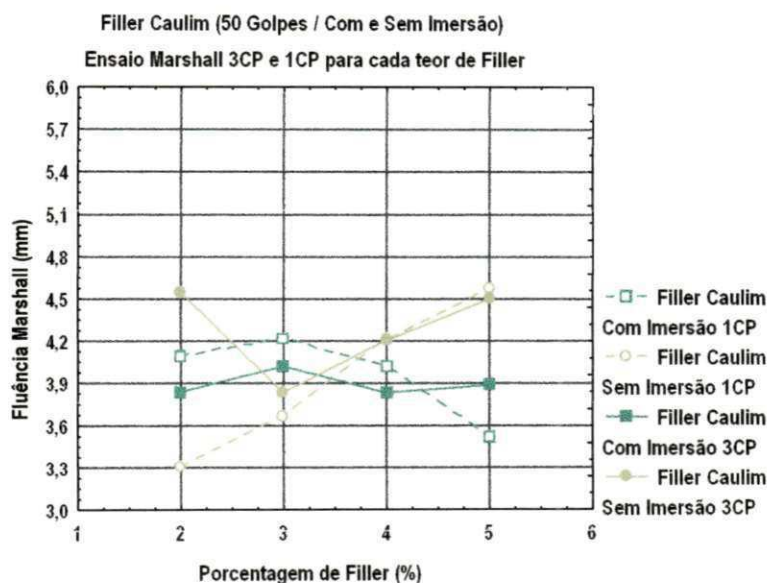


Figura 4.19 - Fluência Marshall para os corpos-de-prova moldados com o filler resíduo do caulim [com e sem imersão/3CP e 1CP]

De maneira análoga ao que ocorreu com a estabilidade, foi detectada uma dispersão relativamente alta nos valores de fluência Marshall para os dois procedimentos, 3CP e 1CP, independente do tipo de filler utilizado, cal ou resíduo do caulim.

4.3.4 - Ensaio de tração indireta

Na Figura 4.20 estão inseridos os resultados da relação da resistência à tração, RRT, obtidos com o auxílio do pórtico de *Lottman*, para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e o resíduo do caulim [3CP]. Em ambos os casos ocorreram incrementos gradativos da RRT com o aumento da quantidade de filler.

Os incrementos observados para a RRT, para os corpos-de-prova onde foi utilizado o filler resíduo do caulim, foram menores quando comparados aos obtidos com corpos-de-prova moldados com o filler cal.

Os resultados da RRT, para ambos os filleres, estão acima dos que são preconizados pela AASTHO (T 283-02 da RRT > 70%) e pelo SUPERPAVE (mínimo de 80%).

Os corpos de prova moldados com o filler cal apresentaram valores da RRT que variaram entre 82 e 140 %, evidenciando um caráter positivo em termos de adesividade do mastique ao agregado, e negativo se forem considerados os resultados obtidos com os ensaios Marshall, onde a estabilidade dos corpos-de-prova, que foram submetidos à imersão, teve um aumento relativamente alto.

Para os corpos-de-prova moldados com o filler do resíduo do caulim os valores da RRT variaram entre 82% e 100%, evidenciando um caráter positivo com relação à resistência a susceptibilidade à presença de água, ao contrário que ocorreu com os corpos-de-prova moldados com o filler cal, houve um menor incremento da estabilidade Marshall dos corpos-de-prova que foram submetidos à imersão. Isto permite inferir que o filler do resíduo do caulim proporciona uma melhor resistência à susceptibilidade à presença de água ao concreto betuminoso, sem, no entanto, torná-lo excessivamente rígido ou quebradiço.

Na Figura 4.21 estão inseridos os resultados da relação da resistência à tração, RRT, obtidas com o auxílio do pórtico de *Lottman*, para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e o resíduo do caulim [1CP].

De maneira análoga ao que ocorreu na etapa anterior os valores da RRT para os corpos-de-prova moldados com o filler cal, variaram entre 82 e 140 %. Para o filler do resíduo do caulim os valores para RRT se enquadraram entre 82% e 105%.

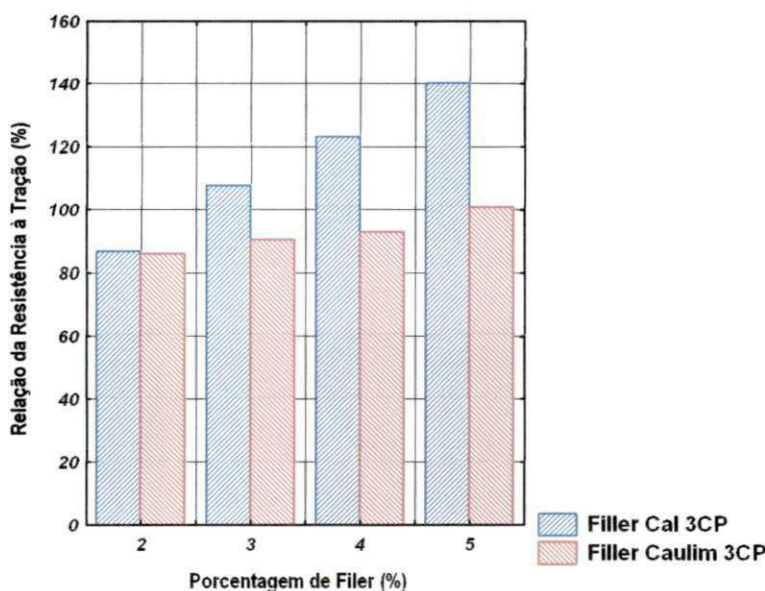


Figura 4.20 – Relação da resistência à tração para os filleres cal e resíduo do caulim - 3CP

Na Figura 4.22 estão inseridos os resultados da relação da resistência à tração, RRT, obtidas com o auxílio do pórtico de *Lottman* para os corpos-de-prova moldados com os filleres cal e o resíduo do caulim, respectivamente.

Os resultados obtidos para as duas etapas [3CP e 1CP] indicam que não houve variações significativas da RRT em ambos os casos.

Como o procedimento de compactação dos corpos-de-prova, em ambos os ensaios, foi semelhante, inclusive com os mesmos materiais e os percentuais de filleres, é possível inferir que a dispersão encontrada nos resultados do ensaio Marshall, provavelmente, não se deve ao método de compactação dos corpos-de-prova ou dos tipos de materiais, agregados, CAP e tipo de filler.

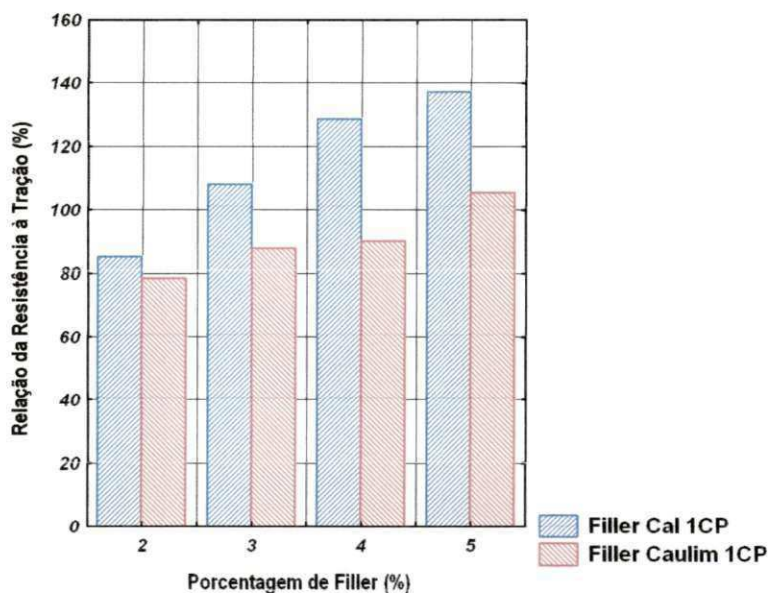


Figura 4.21 – Relação da resistência à tração para os filleres cal e resíduo do caulim - 1CP

É possível sugerir, como provável causa, a forma geométrica do corpo-de-prova, do contato do molde compressão Marshall com o corpo-de-prova e/ou a distribuição das tensões solicitantes sobre o corpo-de-prova. Entretanto, seriam necessários mais estudos sobre a moldagem e a distribuição de força solicitante gerada para romper o corpo-de-prova durante a execução do ensaio Marshall.

A Figura 4.23 apresenta o pòrtico de *Lottman* e o molde de compressão Marshall com os seus respectivos corpos-de-prova rompidos.

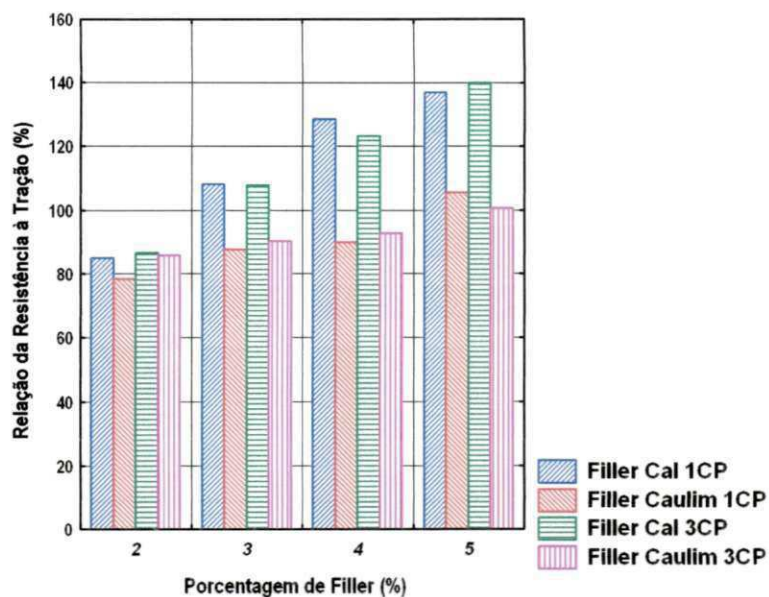


Figura 4.22 – Relação da resistência à tração para os filleres cal e resíduo do caulim [3CP e 1CP]

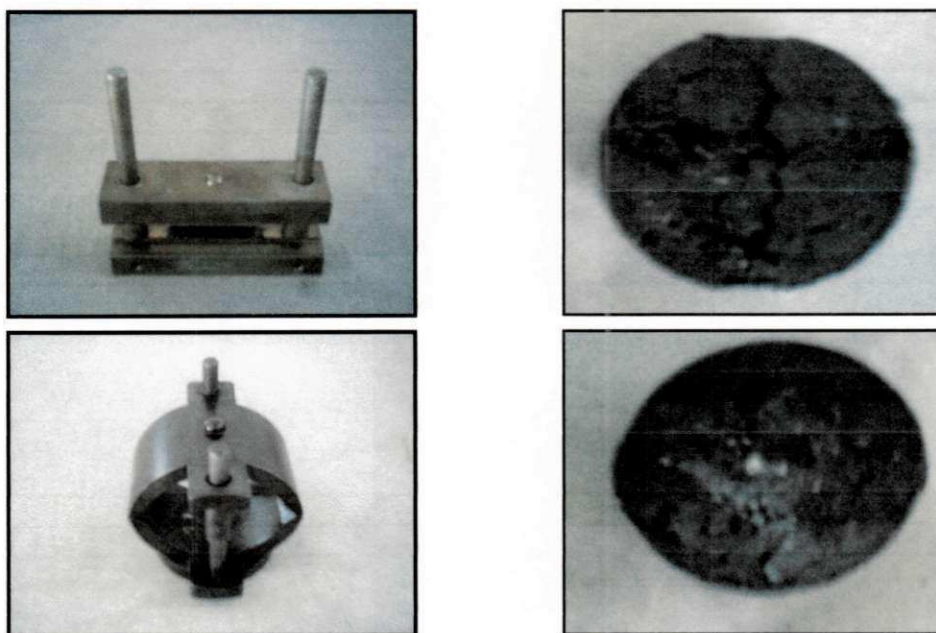


Figura 4.23 – Pórtico de Lottman e molde Marshall com os respectivos corpos-de-prova rompidos

CAPÍTULO 5

5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

As principais conclusões sobre o tema proposto, fundamentadas na literatura e nos resultados dos ensaios realizados durante o experimento são:

- o resíduo do caulim apresentou, em sua potencialidade, características físicas de filler ao atender as especificações propostas pelo DNIT;

- 80% do filler resíduo do caulim apresentaram diâmetro menor que $20\mu\text{m}$. Esse percentual aponta para uma interação maior do filler com o CAP que com os agregados;

- os resultados obtidos com os ensaios de viscosidade saybolt furol e penetração das misturas ensaiadas (CAP + filleres), indicam que o acréscimo da quantidade de filler ao CAP provoca um aumento na rigidez do mástico;

- os valores de estabilidade apresentaram para ambos os filleres, tendências crescentes com o seu incremento. A estabilidade Marshall mínima, preconizada pelo método de ensaio da NBR 12891/1993, para 50 golpes, foi alcançada para ambos os filleres, sendo que, a mistura que tem como filler a cal apresentou um valor maior de estabilidade quando comparado com o resíduo do caulim.

- na análise da fluência, para os filleres cal e resíduo do caulim, os resultados indicam comportamento satisfatório.

- com o auxílio do pórtico de Lottman foram obtidos resultados da relação da resistência à tração (RRT) acima do valor mínimo de 70% e, segundo o método AASHTO T 283/02, esses resultados indicam que os filleres utilizados, quando adicionados a mistura, proporcionam uma menor susceptibilidade a presença de água.

- ambos os filleres tomam a mistura asfáltica menos susceptível a presença de água. Entretanto, se considerarmos 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.

- os resultados encontrados indicam que a utilização do resíduo com origem no processamento do caulim como filler em misturas asfálticas, satisfaz os métodos de misturas asfálticas, preconizados pelo DNIT, para um teor de 5,0% de cimento asfáltico.

5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Ainda são necessárias observações e pesquisas objetivando um melhor conhecimento do resíduo com origem no processamento do caulim quando utilizado como filler em misturas asfálticas. Para isso, sugere-se:

- realizar o ensaio Marshall e o ensaio com o auxílio do pórtico de *Lottman* aumentando o número de golpes de compactação (75 golpes) e utilizando o compactador giratório.

- realizar ensaios de ductilidade, viscosidade cinemática, ponto de fulgor e ponto de amolecimento utilizando como filler o resíduo do nas misturas asfálticas;

- executar e observar o comportamento de um trecho experimental utilizando como filler o resíduo do caulim;

- realizar estudos sobre os impactos ambientais provocados pela deposição inadequada do resíduo do caulim na paisagem, verificando quais as conseqüências que este material venha a afetar o meio ambiente de uma forma global.

- realizar estudos sobre o efeito da moldagem dos corpos-de-prova sobre os resultados do ensaio Marshall.

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 materiais betuminosos a alta temperatura. Rio de Janeiro, 1971.

_____, NBR 12891. Dosagem de misturas betuminosas pelo Método Marshall. Rio de Janeiro, 1993.

ALVES, FRANCISCO. O que está sendo feito com os resíduos industriais? Revista Saneamento Ambiental, Nº 45, Nov/Dez, pp 16-24, 1998.

AMARAL, S. C., Estudos de Misturas Asfálticas Densas com Agregados do Estado do Pará, Utilizando Asfalto Convencional (CAP-40) e Asfalto Modificado Com Polímero SBS (Betuflex B 65/60). Dissertação de Mestrado, USP – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos – SP, 2000.

AASHTO, T 283-02. Resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage. Colorado Procedure L 5109, 1994.

BRANCO, V. T. F. C., Caracterização de Misturas Asfálticas com o uso de Escória de Aciaria como Agregado. Dissertação de Mestrado, COPPE – UFRJ, Rio de Janeiro, 2004

BRASILEIRO, F. E., Estudo Comparativo do Comportamento de Concretos Betuminosos à Quente, Fabricados com Agregados Graúdo Convencionais e não Convencionais, Quando Utilizando o Ensaio de Estabilidade Marshall. Dissertação de Mestrado, UFPB, Campina Grande – PB, 1983.

CLERICUZI, G. Z.; LABORDE H. M.; RODRIGUES M. G. F. Caracterização do Caulim Juazeirinho - PB. In: 45º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2001, Florianópolis, SC. Anais... UFCG/CCT/DEQ, Campina Grande-PB.

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

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;

D' ANGELO, J.D & ANDERSON, R. 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.

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 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.

DNPM, DEPARTAMENTO NACIONAL da PRODUÇÃO MINERAL. Principais Depósitos Minerais do Brasil, 1996, v.4, Parte B, Brasília-DF.

DNPM, DEPARTAMENTO NACIONAL da PRODUÇÃO MINERAL. Anuário Mineral Brasileiro 1989-2000, 2001, Brasília-DF.

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

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

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

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

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.

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.

HUNTER, E.R., & KSAIBATI, K., Evaluating Moisture Susceptibility of Asphalt Mixes, Universidade de Wyoming, USA, 2003.

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.

LEAL, C.L.D. & CASTRO, P. F., Concreto Asfalto: Utilização de Rejeitos como Filler, 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 – PETROBRAS, Rio de Janeiro ,1996

LIMA, Francisco Célio de Araújo Assunção. Resíduo Proveniente do Corte de Rochas Ornamentais: uma Alternativa de Utilização na Pavimentação. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Campina Grande – PB, 2003.

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

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

MARTINS, G. B. H. Práticas Limpas Aplicadas às Indústrias Têxteis de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 1997, Florianópolis-SC.

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

MÖLLER, L. M.; BARROS, R. T. V. Limpeza Pública. In: Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. 1988, pg. 183.

MOTTA, Laura M. G., LEITE, Leni F. M. Efeito do Filler nas Características Mecânicas das Misturas Asfálticas. In: Anais do 11º Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte, pp. 1007-1017, Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil, 19-23 Novembro, 2000.

LOURÃO, F. A. L., Misturas Asfálticas de Alto Desempenho, Dissertação de Mestrado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

NEVES, GELMIRE DE ARAÚJO. Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria prima cerâmica. Campina Grande. 256p. Tese (Doutorado) Universidade Federal da Paraíba, 2002, Campina Grande-PB.

PEREIRA, M & PEREIRA, A. B, Estudo da Influência da Umidade na pós- compactação no Índice de Supor CBR de Solos no Subleito de Rodovias no Interior de São Paulo. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, ABPV, São Paulo, 2003.

PUZINAUSKAS, V.P., Filler in Asphalt Mixtures, Research Report No. 69-2 (RR-69-2), Asphalt Institute, Kentucky - U.S.A., 1983.

SANTANA, HUMBERTO. Considerações Sobre os Nebulosos Conceitos e Definição de Filler em Misturas Asfálticas. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá – Mato Grosso, vol. 1, 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. A. C. Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito. Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 1998.

SILVA, SEBASTIÃO PEREIRA. Geologia do Caulim, 2ª ed., Belém - PA: 5ª DS/DNPM, 1993.

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.

TANDON, 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 Ltda, USA, 2004.

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.

WESSELING, D. H. et al., Estudo Laboratorial do Comportamento de Misturas em Concreto Asfáltico com diferentes tipos de filleres. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, ABPV, São Paulo - SP, 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 concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

Anexo B – Ensaio Marshall

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos experimentos realizados com o equipamento Marshall.

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 hexametáfosfato.

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

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

7.1 - ANEXO A

7.1.1 - Dosagem Marshall

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos experimentos realizados para o ensaio Marshall para a dosagem do concreto betuminoso usinado à quente (CBUQ).

Quadro 7.1 – Dosagem Marshall

ATECEL - 2% Filler (CAL) – 3CP – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		c	NO AR		NA ÁGUA	f	APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.		REL. BET. VAZIOS	TOTAL	o	
	g	g	cm	d	e	cm³	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-j	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		3,5	6,78	1191,5	669,6	521,9	2,28	2,50	7,83	83,59	8,57	16,41	47,74	8,57	290	574,49	0,89	511,30	4,76
2		3,5	6,65	1194,5	670,7	523,8	2,28	2,50	7,83	83,50	8,68	16,50	47,42	8,68	380	752,78	0,93	700,09	6,35
3		3,5	6,70	1194,3	671,5	522,8	2,28	2,50	7,84	83,64	8,52	16,36	47,92	8,52	345	683,45	0,93	635,60	4,76
M		3,50					2,28	2,50					47,70	8,59				615,66	5,29
4		4	6,55	1187,5	675,6	511,9	2,32	2,48	9,10	84,50	6,40	15,50	58,69	6,40	385	762,7	0,95	724,55	4,76
5		4	6,65	1196,9	678,2	518,7	2,31	2,48	9,05	84,05	6,90	15,95	56,74	6,90	355	703,3	0,93	654,03	3,97
6		4	6,67	1193,7	679,7	514,0	2,32	2,48	9,11	84,59	6,30	15,41	59,11	6,30	365	723,1	0,93	672,45	2,38
M		4,00					2,32	2,48					58,18	6,54				683,68	3,70
7		4,5	6,65	1190,8	681,3	509,5	2,34	2,46	10,31	84,69	5,00	15,31	67,34	5,00	250	495,3	0,93	460,58	3,97
8		4,5	6,65	1193,5	677,5	516,0	2,31	2,46	10,20	83,81	5,98	16,19	63,04	5,98	245	485,3	0,93	451,37	4,37
9		4,5	6,66	1192,1	677,9	514,2	2,32	2,46	10,23	84,01	5,77	15,99	63,95	5,77	360	713,2	0,93	663,24	7,14
M		4,50					2,32	2,46					64,78	5,58				525,06	5,16
10		5	6,83	1208	688,9	519,1	2,33	2,44	11,41	83,88	4,71	16,12	70,77	4,71	362	717,12	0,89	638,24	4,76
11		5	6,72	1211,9	691,5	520,4	2,33	2,44	11,42	83,94	4,64	16,06	71,09	4,64	355	703,26	0,93	654,03	4,21
12		5	6,64	1207,7	686,4	521,3	2,32	2,44	11,36	83,51	5,14	16,49	68,86	5,14	260	515,06	0,93	479,01	4,76
M		5,00					2,32	2,44					70,24	4,83				590,42	4,58
13		5,5	6,44	1193,4	688,7	504,7	2,36	2,42	12,75	84,78	2,47	15,22	83,79	2,47	385	762,69	0,98	747,43	4,37
14		5,5	6,50	1196,1	687,1	509,0	2,35	2,42	12,67	84,26	3,07	15,74	80,49	3,07	310	614,11	0,96	589,55	7,14
15		5,5	6,60	1192,2	686,6	505,6	2,36	2,42	12,71	84,55	2,74	15,45	82,28	2,74	340	673,54	0,94	633,13	7,14
M		5,50					2,36	2,42					82,19	2,76				656,70	6,22

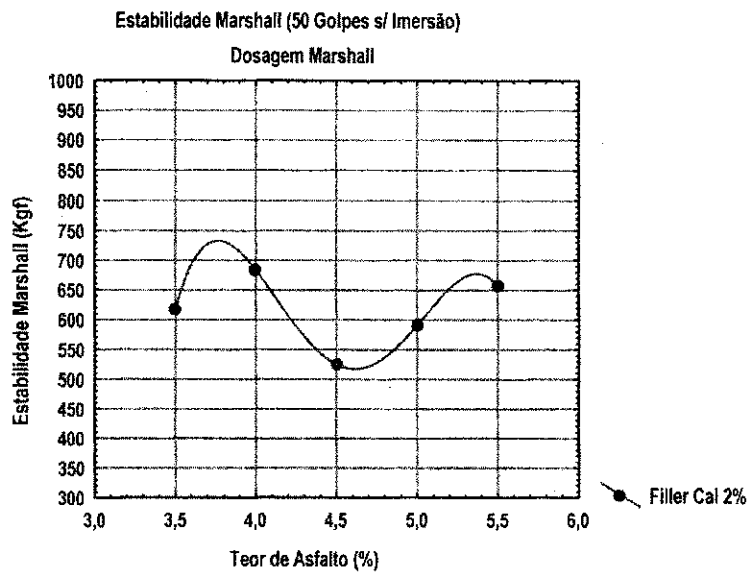


Figura 7.1 – Estabilidade em função do teor de asfalto [filler Cal 2%]

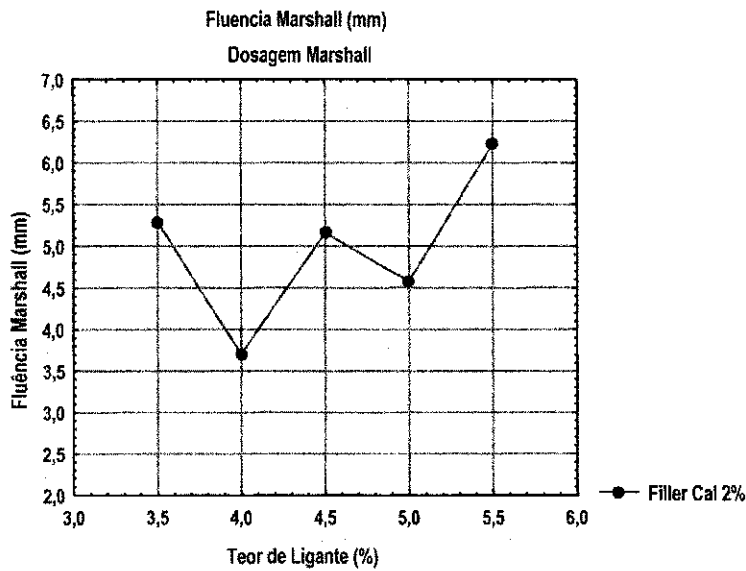


Figura 7.2 – Fluência em função do teor de asfalto [filler Cal 2%]

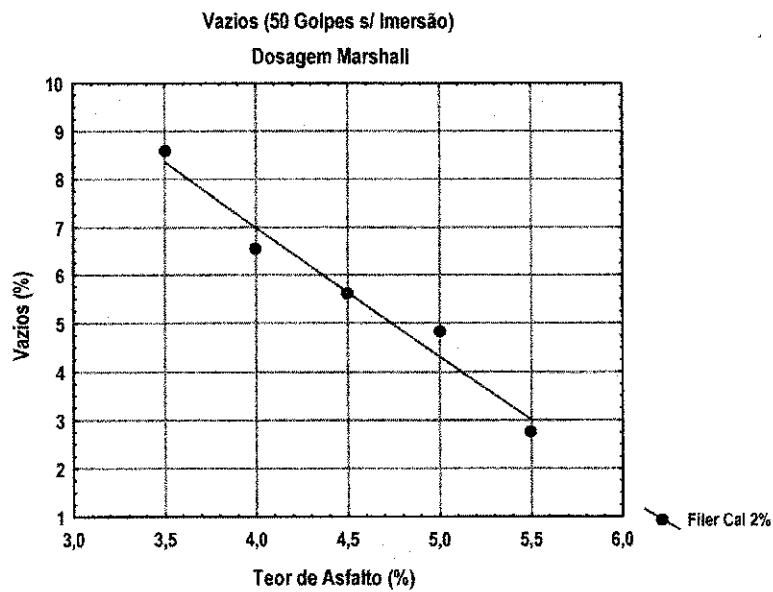


Figura 7.3 – Vazios em função do teor de asfalto [filler Cal 2%]

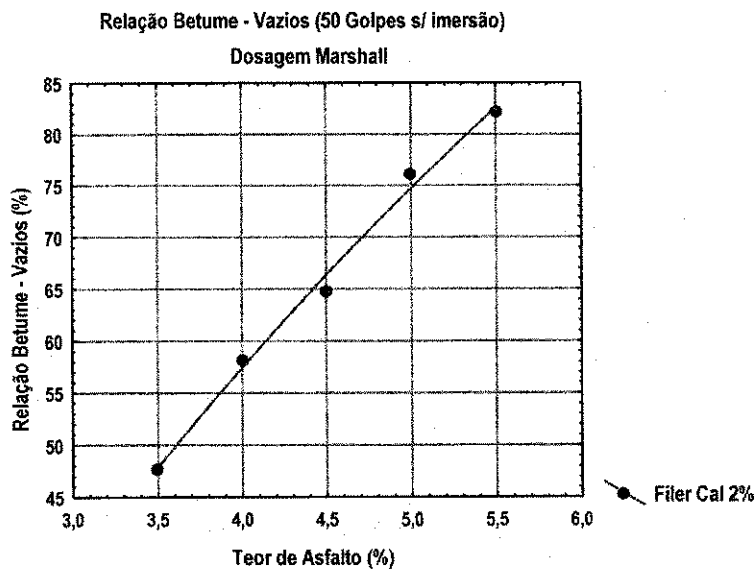


Figura 7.4 – Relação betume vazios em função do teor de asfalto [filler Cal 2%]

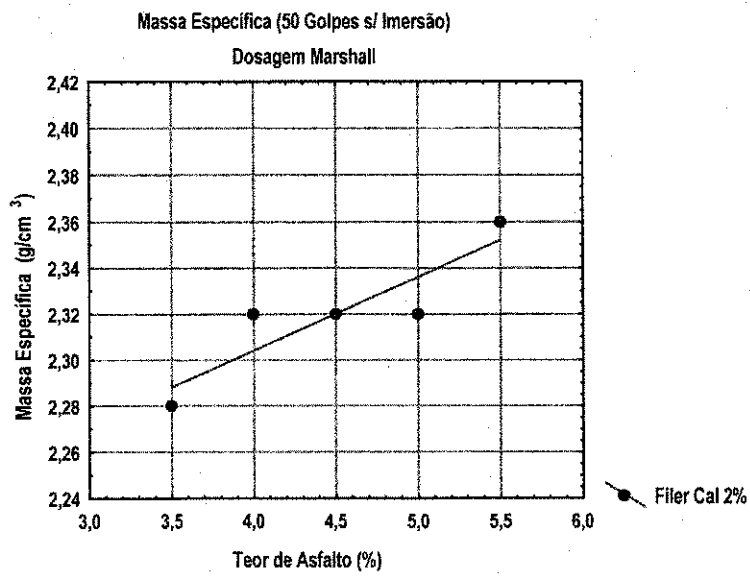


Figura 7.5 – Massa específica em função do teor de asfalto [filler Cal 2%]

7.2 - ANEXO B

7.2.1 - Ensaio Marshall

Constam planilhas de cálculos e gráficos resultantes dos experimentos realizados o equipamento Marshall.

Quadro 7.2 – Ensaio Marshall para 2% de filler cal – Sem imersão - 3CP

ATECEL - 2% Filer (CAL) – Sem Imersão CCT - DEC – GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
				NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	M	n	o	p	q	r	s
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,36	1200	688,6	511,4	2,35	2,44	11,50	84,58	3,92	15,42	74,60	3,92	315	624,02	1	624,02	3,57
2		5	6,33	1199	690	509,0	2,36	2,44	11,55	84,91	3,54	15,09	76,52	3,54	310	614,11	1,01	620,25	4,13
3		5	6,46	1202	690,5	511,5	2,35	2,44	11,52	84,71	3,78	15,29	75,32	3,78	345	683,45	0,97	662,94	4,37
M		5,00					2,35	2,44					75,48	3,75				635,74	4,02

Quadro 7.3 - Ensaio Marshall para 3% de filler cal – Sem imersão - 3CP

ATECEL 3% Filer (CAL) - Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
				NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,27	1198	689	509,0	2,35	2,44	11,54	84,90	3,56	15,10	76,41	3,56	432	855,79	1,02	872,91	5,55
2		5	6,30	1195	687,6	507,4	2,36	2,44	11,54	84,95	3,50	15,05	76,73	3,50	408	808,25	1,01	816,33	2,22
3		5	6,40	1190	683	507,0	2,35	2,44	11,51	84,67	3,83	15,33	75,03	3,83	345	683,45	0,99	676,61	2,54
M		5,00					2,35	2,44					76,06	3,63				788,62	3,44

Quadro 7.4 – Ensaio Marshall para 4% de filler cal – Sem imersão - 3CP

ATECEL 4% Filer (CAL) - Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm	
1		5	6,36	1199,4	692,9	506,5	2,37	2,44	11,61	85,48	2,91	14,52	79,95	2,91	420	832,02	1	832,02	4,37
2		5	6,43	1191,8	687,1	504,7	2,36	2,44	11,58	85,24	3,18	14,76	78,44	3,18	355	703,26	0,98	689,19	4,02
3		5	6,54	1201,3	690,6	510,7	2,35	2,44	11,53	84,91	3,56	15,09	76,43	3,56	465	921,17	0,95	875,11	5,56
M		5,00					2,36	2,44					78,27	3,22				798,77	4,65

Quadro 7.5 – Ensaio Marshall para 5% de filler cal – Sem imersão - 3CP

ATECEL 5% Filer (CAL) - Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm	
1		5	6,60	1201,3	692,3	509,0	2,36	2,44	11,57	85,26	3,17	14,74	78,48	3,17	480	950,88	0,94	893,83	4,76
2		5	6,43	1194	688,6	505,4	2,36	2,44	11,58	85,34	3,07	14,66	79,02	3,07	455	901,36	0,98	883,33	4,37
3		5	6,40	1194,2	686,7	507,5	2,35	2,44	11,53	85,01	3,46	14,99	76,93	3,46	410	812,21	0,99	804,09	4,52
M		5,00					2,36	2,44					78,14	3,24				860,41	4,55

Quadro 7.6 – Ensaio Marshall para 2% de filler cal – Com imersão - 3CP

ATECEL 2% Filer (CAL) - Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,50	1200,7	685,9	514,8	2,33	2,44	11,43	84,07	4,50	15,93	71,78	4,50	385	762,69	0,96	732,18	4,76
2		5	6,54	1202,6	688	514,6	2,34	2,44	11,46	84,24	4,31	15,76	72,67	4,31	425	841,93	0,95	799,83	3,57
3		5	6,54	1198,7	686,4	512,3	2,34	2,44	11,47	84,34	4,19	15,66	73,25	4,19	405	802,31	0,95	762,19	4,76
M		5,00					2,34	2,44					72,57	4,33				764,73	4,36

Quadro 7.7 – Ensaio Marshall para 3% de filler cal – Com imersão - 3CP

ATECEL 3% Filer (CAL) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,63	1195,3	680	515,3	2,32	2,44	11,37	83,67	4,96	16,33	69,64	4,96	435	861,74	0,94	810,03	3,57
2		5	6,57	1189	675	514,0	2,31	2,44	11,34	83,44	5,22	16,56	68,49	5,22	420	832,02	0,95	790,42	4,76
3		5	6,66	1195,2	673	522,2	2,29	2,44	11,22	82,56	6,22	17,44	64,34	6,22	435	861,74	0,93	801,41	5,4
M		5,00					2,31	2,44					67,49	5,46				800,62	4,58

Quadro 7.8 – Ensaio Marshall para 4% de filler cal – Com imersão - 3CP

ATECEL 4% Filer (CAL) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		c	NO AR		NA ÁGUA	f	APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.		REL. BET. VAZIOS	TOTAL	o	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,56	1196,5	687	509,5	2,35	2,44	11,51	84,77	3,72	15,23	75,60	3,72	465	921,17	0,95	875,11	3,97
2		5	6,56	1194	686,2	507,8	2,35	2,44	11,53	84,88	3,59	15,12	76,23	3,59	540	1069,74	0,95	1016,25	4,37
3		5	6,49	1194	685,6	508,4	2,35	2,44	11,51	84,78	3,71	15,22	75,63	3,71	555	1099,46	0,97	1066,47	4,76
M		5,00					2,35	2,44					75,82	3,67				985,94	4,37

Quadro 7.9 – Ensaio Marshall para 5% de filler cal – Com imersão - 3CP

ATECEL 5% Filer (CAL) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		c	NO AR		NA ÁGUA	f	APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.		REL. BET. VAZIOS	TOTAL	o	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,50	1195,5	685,1	510,4	2,34	2,44	11,48	84,61	3,90	15,39	74,63	3,90	600	1188,60	0,96	1141,06	4,37
2		5	6,43	1194,8	686,8	508,0	2,35	2,44	11,53	84,96	3,51	15,04	76,68	3,51	605	1198,51	0,98	1174,53	4,76
3		5	6,44	1193,3	687,8	505,5	2,36	2,44	11,57	85,28	3,15	14,72	78,60	3,15	575	1139,08	0,98	1116,29	3,97
M		5,00					2,35	2,44					76,64	3,52				1143,96	4,37

Quadro 7.10 – Ensaio Marshall para 2% de filler residuo do caulim – Sem imersão - 3CP

ATECEL 2% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	l/l*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,50	1195,3	681	514,3	2,32	2,44	11,39	83,71	4,90	16,29	69,93	4,90	120	237,72	0,96	228,21	4,37
2		5	6,70	1201,4	681,6	519,8	2,31	2,44	11,33	83,25	5,42	16,75	67,62	5,42	150	297,15	0,92	273,38	5,32
3		5	6,72	1208,8	689,3	519,5	2,33	2,44	11,41	83,81	4,79	16,19	70,44	4,79	140	277,34	0,92	255,15	3,97
M		5,00					2,32	2,44					69,33	5,04				252,25	4,55

Quadro 7.11 – Ensaio Marshall para 3% de filler residuo do caulim – Sem imersão - 3CP

ATECEL 3% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	l/l*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,55	1189,1	683,7	505,4	2,35	2,44	11,53	84,77	3,70	15,23	75,73	3,70	200	396,20	0,95	376,39	4,76
2		5	6,40	1187	682	505,0	2,35	2,44	11,52	84,69	3,79	15,31	75,24	3,79	145	287,25	0,99	284,37	2,78
3		5	6,46	1185,6	682,4	503,2	2,36	2,44	11,55	84,89	3,56	15,11	76,44	3,56	180	356,58	0,97	345,88	3,97
M		5,00					2,35	2,44					75,80	3,68				335,55	3,84

Quadro 7.12 – Ensaio Marshall para 4% de filler resíduo do caulim – Sem imersão - 3CP

ATECEL 4% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-j	i/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1	5	6,50	1188,3	683	505,3	2,35	2,44	11,53	84,76	3,71	15,24	75,63	3,71	205	406,11	0,96	389,86	3,57	
2	5	6,63	1194,2	684	510,2	2,34	2,44	11,47	84,36	4,17	15,64	73,37	4,17	195	386,30	0,94	363,12	5,08	
3	5	6,52	1199,6	687	512,6	2,34	2,44	11,47	84,35	4,18	15,65	73,28	4,18	250	495,25	0,96	475,44	3,97	
M	5,00					2,34	2,44					74,09	4,02				409,47	4,21	

Quadro 7.13 – Ensaio Marshall para 5% de filler resíduo do caulim – Sem imersão - 3CP

ATECEL 5% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-j	i/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1	5	6,36	1198	693	505,0	2,37	2,44	11,63	85,53	2,84	14,47	80,37	2,84	260	515,06	1	515,06	4,37	
2	5	6,43	1195,7	690	505,7	2,36	2,44	11,59	85,25	3,16	14,75	78,57	3,16	210	416,01	0,98	407,69	4,76	
3	5	6,53	1192,6	690,5	502,1	2,38	2,44	11,64	85,64	2,72	14,36	81,06	2,72	315	624,02	0,96	599,05	4,37	
M	5,00					2,37	2,44					80,00	2,91				507,27	4,50	

Quadro 7.14 – Ensaio Marshall para 2% de filler resíduo do caulim – Com imersão - 3CP

ATECEL 2% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		c	NO AR		NA ÁGUA	f	APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.		REL. BET. VAZIOS	TOTAL	o	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-J	l/l*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,54	1199,4	685	514,4	2,33	2,44	11,43	83,98	4,59	16,02	71,34	4,59	170	336,77	0,95	319,93	3,18
2		5	5,86	1115,4	644,7	470,7	2,37	2,44	11,62	85,35	3,04	14,65	79,28	3,04	190	376,39	1	376,39	3,97
3		5	6,40	1202,5	691,4	511,1	2,35	2,44	11,53	84,74	3,73	15,26	75,58	3,73	240	475,44	1	475,44	4,37
M		5,00					2,35	2,44					75,40	3,78				390,59	3,84

Quadro 7.15 – Ensaio Marshall para 3% de filler resíduo do caulim – Com imersão - 3CP

ATECEL 3% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		c	NO AR		NA ÁGUA	f	APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.		REL. BET. VAZIOS	TOTAL	o	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-J	l/l*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,50	1189,7	683,5	506,2	2,35	2,44	11,52	84,68	3,80	15,32	75,19	3,80	230	455,63	0,96	437,40	4,13
2		5	6,38	1189	682,5	506,5	2,35	2,44	11,51	84,58	3,91	15,42	74,62	3,91	200	396,20	0,99	392,24	3,97
3		5	6,53	1196,9	685,5	511,4	2,34	2,44	11,47	84,32	4,20	15,68	73,19	4,20	250	495,25	0,96	475,44	3,97
M		5,00					2,35	2,44					74,33	3,97				435,03	4,02

Quadro 7.16 – Ensaio Marshall para 4% de filler residuo do caulim – Com imersão - 3CP

ATECEL 4% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm ³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,59	1198,9	667,4	511,5	2,34	2,44	11,49	84,48	4,03	15,52	74,02	4,03	280	554,68	0,94	521,40	2,78
2		5	6,46	1191,8	664,5	507,3	2,35	2,44	11,52	84,67	3,81	15,33	75,14	3,81	240	475,44	0,97	461,18	4,76
3		5	6,49	1192,6	682,5	510,1	2,34	2,44	11,46	84,26	4,27	15,74	72,83	4,27	250	495,25	0,97	480,39	3,97
M		5,00					2,34	2,44					74,00	4,04				487,66	3,84

Quadro 7.17 – Ensaio Marshall para 5% de filler residuo do caulim – Com imersão - 3CP

ATECEL 5% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm ³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,48	1194,6	685,4	509,2	2,35	2,44	11,50	84,58	3,92	15,42	74,60	3,92	280	554,68	0,97	538,04	4,21
2		5	6,32	1194,6	689,8	504,8	2,37	2,44	11,60	85,32	3,08	14,68	79,03	3,08	320	633,92	1,01	640,26	3,57
3		5	6,42	1195,2	685,8	509,4	2,35	2,44	11,50	84,59	3,91	15,41	74,65	3,91	260	515,06	0,98	504,76	3,89
M		5,00					2,35	2,44					76,09	3,63				561,02	3,89

Quadro 7.18 – Ensaio Marshall para 2% de filler cal – Sem imersão - 1CP

ATECEL 2% Filer (CAL) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1	5	6,34	1181	679	502,0	2,35	2,44	11,53	84,80	3,67	15,20	75,87	3,67	125	247,63	1	247,63	3,18	
M	5,00					2,35	2,44					75,87	3,67				247,63	3,18	

Quadro 7.19 – Ensaio Marshall para 3% de filler cal – Sem imersão - 1CP

ATECEL 3% Filer (CAL) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1	5	6,51	1186	681	505,0	2,35	2,44	11,51	84,72	3,77	15,28	75,32	3,77	185	366,49	0,96	351,83	3,88	
M	5					2,35	2,44					75,32	3,77				351,83	3,88	

Quadro 7.20 – Ensaio Marshall para 4% de filler cal – Sem imersão - 1CP

ATECEL 4% Filer (CAL) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-J	l/l*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
	1	5	6,58	1182	679	503,0	2,35	2,44	11,52	84,83	3,65	15,17	75,92	3,65	280	554,68	0,95	526,95	3,53
M	5,00					2,35	2,44						75,92	3,65				526,95	3,53

Quadro 7.21 – Ensaio Marshall para 5% de filler cal – Sem imersão - 1CP

ATECEL 5% Filer (CAL) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-J	l/l*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
	1	5	6,45	1190	684,4	505,6	2,35	2,44	11,54	85,03	3,44	14,97	77,04	3,44	360	713,16	0,98	698,90	3,88
M	5,00					2,35	2,44						77,04	3,44				698,90	3,88

Quadro 7.22 – Ensaio Marshall para 2% de filler cal – Com imersão - 1CP

ATECEL 2% Filer (CAL) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	VL*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,50	1193,9	685	508,9	2,35	2,44	11,50	84,56	3,94	15,44	74,50	3,94	285	564,59	1	564,59	3,88
M		5,00					2,35	2,44					74,50	3,94				564,59	3,88

Quadro 7.23 – Ensaio Marshall para 3% de filler cal – Com imersão - 1CP

ATECEL 3% Filer (CAL) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	VL*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,54	1191,7	684	507,7	2,35	2,44	11,51	84,67	3,82	15,33	75,06	3,82	290	574,49	0,97	557,26	3,67
M		5,00					2,35	2,44					75,06	3,82				557,26	3,67

Quadro 7.24 – Ensaio Marshall para 4% de filler cal – Com imersão - 1CP

ATECEL 4% Filer (CAL) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	IL*100	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm	
	1	5	6,48	1192	683	509,0	2,34	2,44	11,48	84,54	3,98	15,46	74,24	3,98	355	703,26	0,96	675,12	3,74
M	5,00					2,34	2,44					74,24	3,98				675,12	3,74	

Quadro 7.25 – Ensaio Marshall para 5% de filler cal – Com imersão - 1CP

ATECEL 5% Filer (CAL) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	IL*100	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm	
	1	5	6,45	1196,7	687,7	509,0	2,35	2,44	11,52	84,93	3,54	15,07	76,49	3,54	470	931,07	0,98	912,45	3,81
M	5,00					2,35	2,44					76,49	3,54				912,45	3,81	

Quadro 7.26 – Ensaio Marshall para 2% de filler resíduo do caulim – Sem imersão - 1CP

ATECEL 2% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm ³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-j	l/l*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,57	1185	680	505,0	2,35	2,44	11,50	84,52	3,98	15,48	74,29	3,98	130	257,53	1	257,53	3,32
M		5,00					2,35	2,44					74,29	3,98				257,53	3,32

Quadro 7.27 – Ensaio Marshall para 3% de filler resíduo do caulim – Sem imersão - 1CP

ATECEL 3% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm ³	d/f	-	-	-	100-i-j	100-j	l/l*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,54	1194	687	507,0	2,36	2,44	11,54	84,85	3,61	15,15	76,20	3,61	155	307,06	0,98	300,91	3,67
M		5,00					2,36	2,44					76,20	3,61				300,91	3,67

Quadro 7.28 – Ensaio Marshall para 4% de filler residuo do caulim – Sem imersão - 1CP

ATECEL 4% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1	5	6,55	1192,8	685	507,8	2,35	2,44	11,51	84,66	3,83	15,34	75,06	3,83	175	346,68	0,99	343,21	4,23	
M	5,00					2,35	2,44					75,06	3,83				343,21	4,23	

Quadro 7.29 – Ensaio Marshall para 5% de filler residuo do caulim – Sem imersão - 1CP

ATECEL 5% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Sem Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1	5	6,45	1194,2	688	506,2	2,36	2,44	11,56	85,06	3,38	14,94	77,39	3,38	220	435,82	0,98	427,10	4,58	
M	5,00					2,36	2,44					77,39	3,38				427,10	4,58	

Quadro 7.30 – Ensaio Marshall para 2% de filler residuo do caulim – Com imersão - 1CP

ATECEL 2% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm		
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.																	
1	5	6,51	1190	685	505,0	2,36	2,44	11,55	84,87	3,58	15,13	76,36	3,58	245	485,35	0,96	465,93	4,09	
M	5,00					2,36	2,44					76,36	3,58				465,93	4,09	

Quadro 7.31 – Ensaio Marshall para 3% de filler residuo do caulim – Com imersão - 1CP

ATECEL 3% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	I/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm		
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.																	
1	5	6,51	1190	686	504,0	2,36	2,44	11,57	85,07	3,36	14,93	77,52	3,36	295	584,40	0,96	561,02	4,23	
M	5,00					2,36	2,44					77,52	3,36				561,02	4,23	

Quadro 7.32 – Ensaio Marshall para 4% de filler residuo do caulim – Com imersão - 1CP

ATECEL 4% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	l/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,46	1193,6	687,4	506,2	2,36	2,44	11,56	84,99	3,46	15,01	76,98	3,46	325	643,83	0,98	630,95	4,02
M		5,00					2,36	2,44					76,98	3,46				630,95	4,02

Quadro 7.33 – Ensaio Marshall para 5% de filler residuo do caulim – Com imersão - 1CP

ATECEL 5% Filer (RESÍDUO DO CAULIM) – Com Imersão CCT - DEC - GEOTECNIA																			
CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		NO AR	NA ÁGUA		APAR.	TEÓR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LIDA	CORREÇÃO	CORREGIDA	
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	d/f	-	-	-	100-I-J	100-J	l/L*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	mm
1		5	6,44	1193,5	685	508,5	2,35	2,44	11,51	84,62	3,87	15,38	74,82	3,87	360	713,16	0,98	698,90	3,53
M		5,00					2,35	2,44					74,82	3,87				698,90	3,53

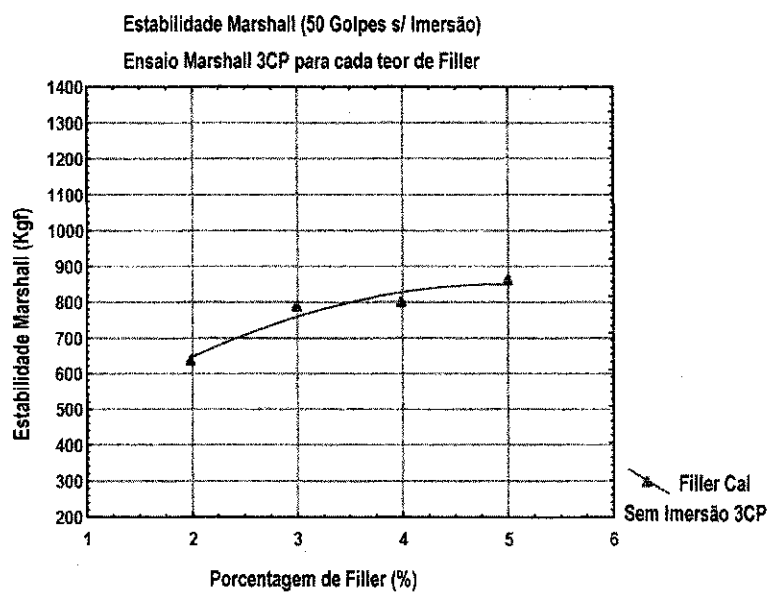


Figura 7.6 - Estabilidade em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]

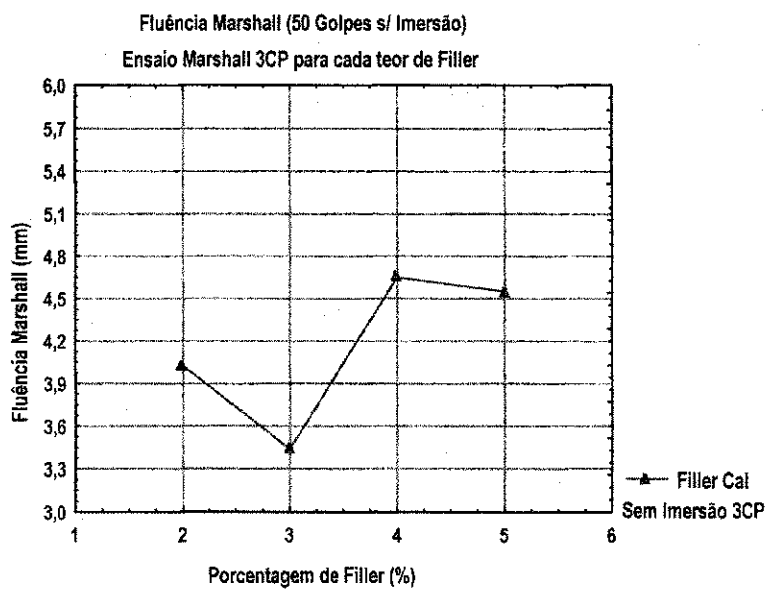


Figura 7.7 - Fluência em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]

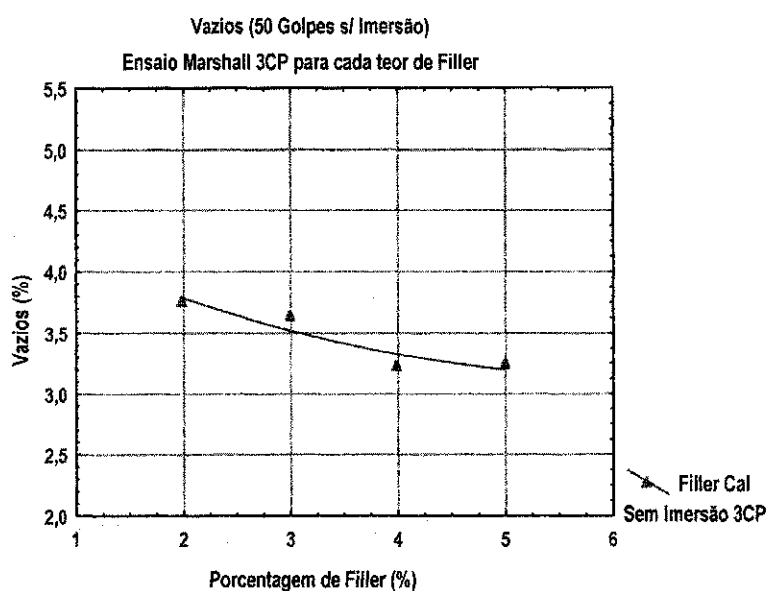


Figura 7.8 - Vazios em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]

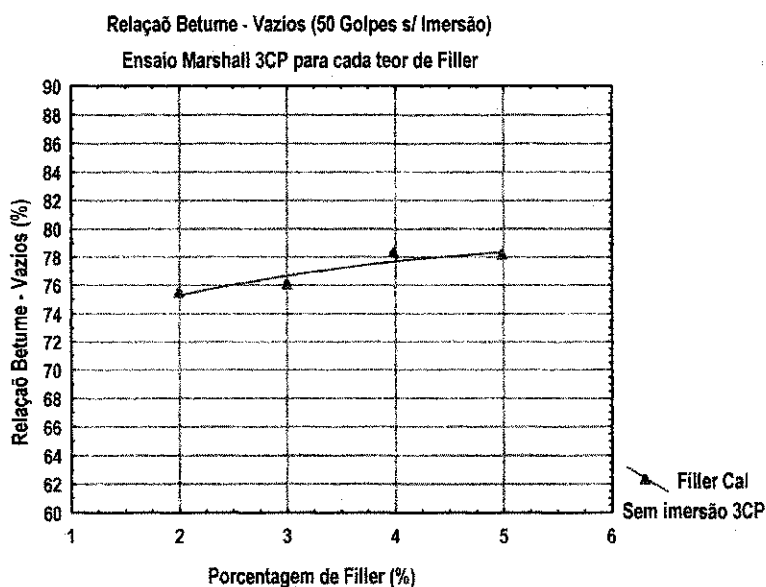


Figura 7.9 - Relação Betume Vazios em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]

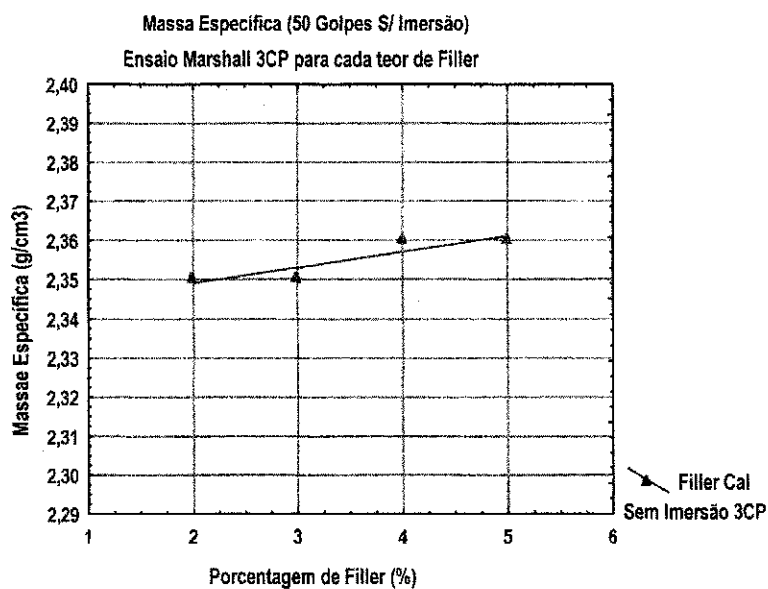


Figura 7.10 - Massa Específica em função do percentual de filler cal [3CP / Sem imersão]

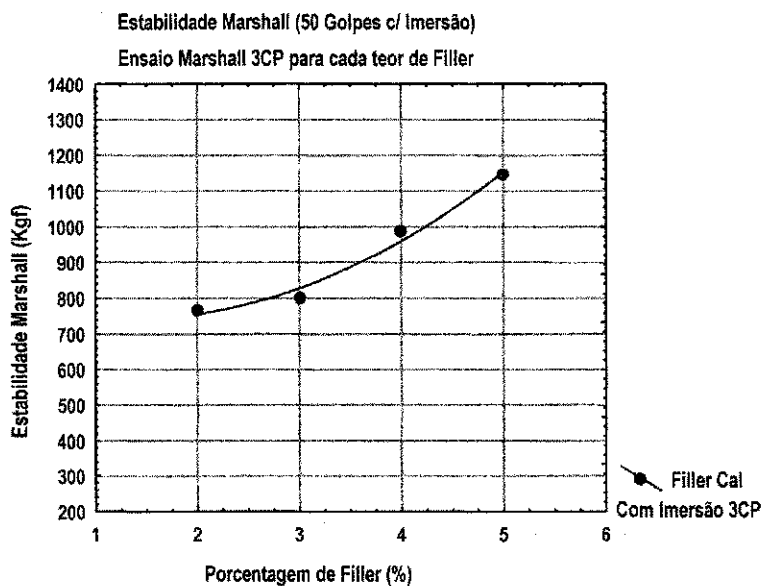


Figura 7.11 - Estabilidade em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão]

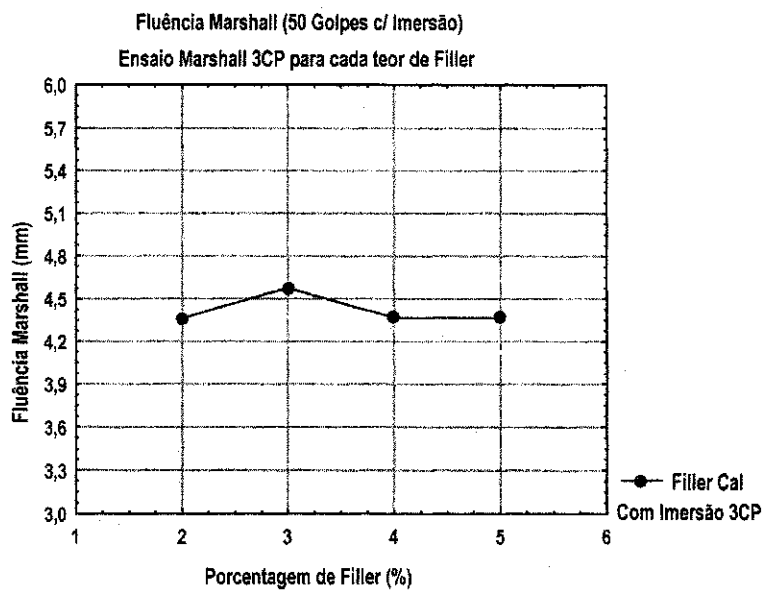


Figura 7.12 - Fluência em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão]

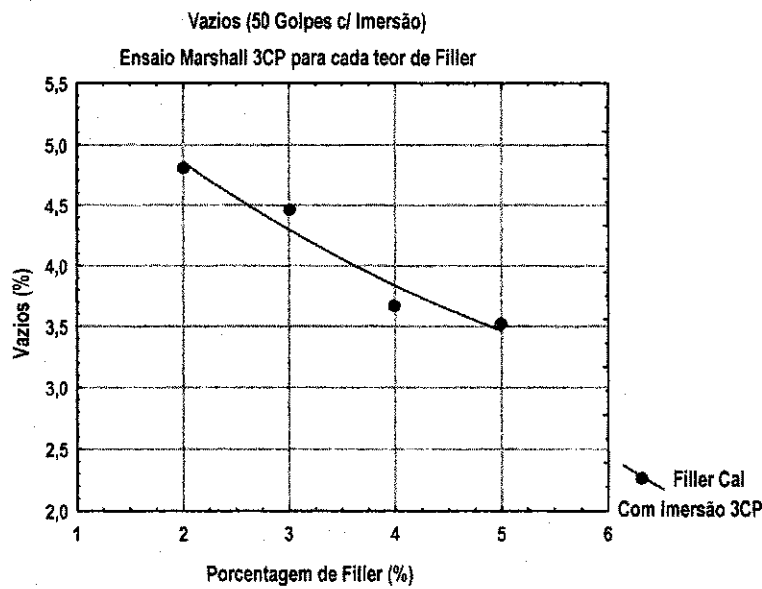


Figura 7.13 - Vazios em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão]

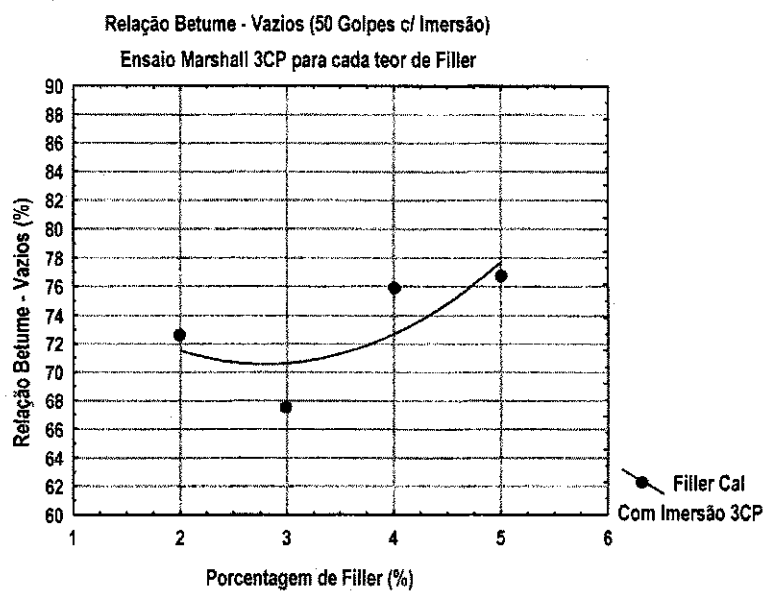


Figura 7.14 - Relação Betume Vazios em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão]

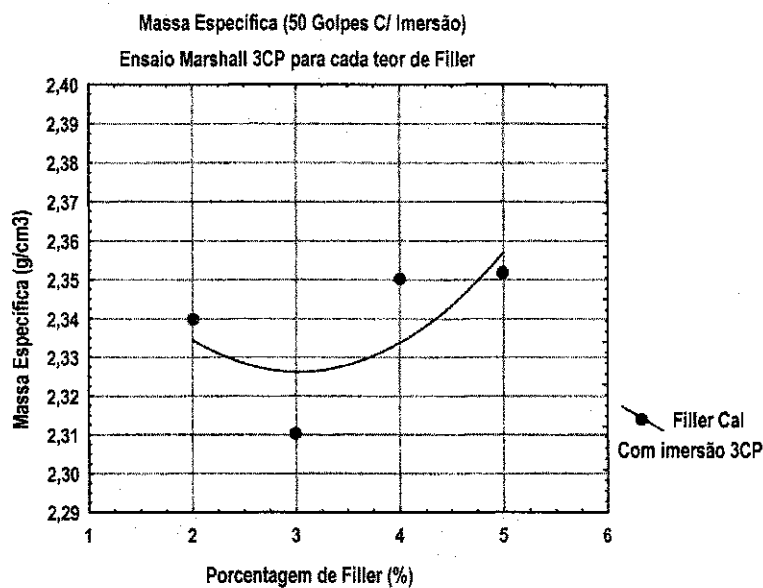


Figura 7.15 - Massa Específica em função do percentual de filler cal [3CP / Com imersão]

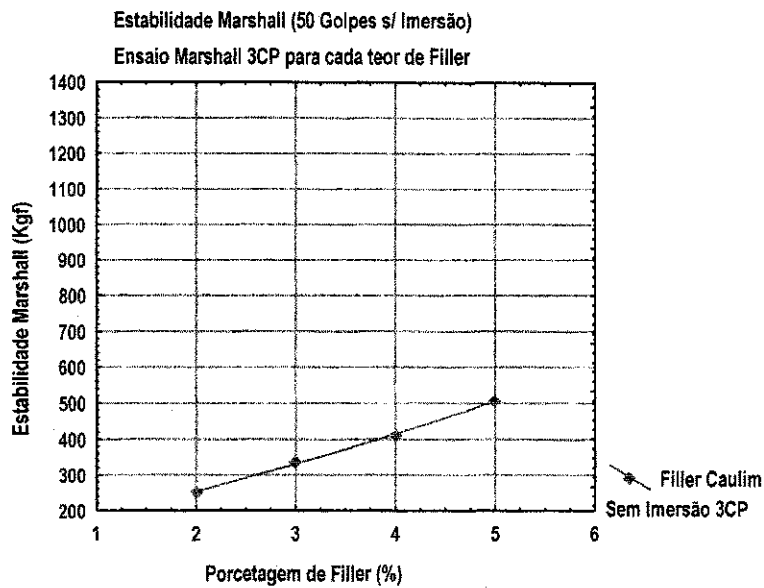


Figura 7.16 - Estabilidade em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão]

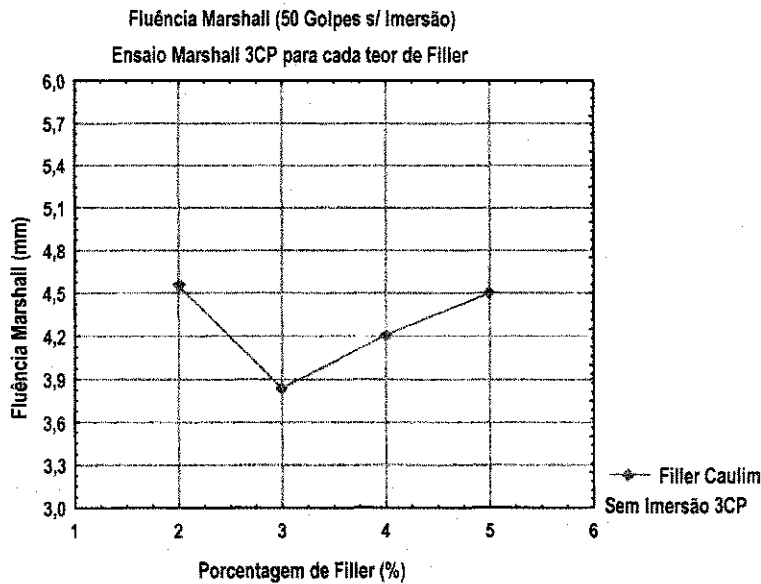


Figura 7.17 - Fluência em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão]

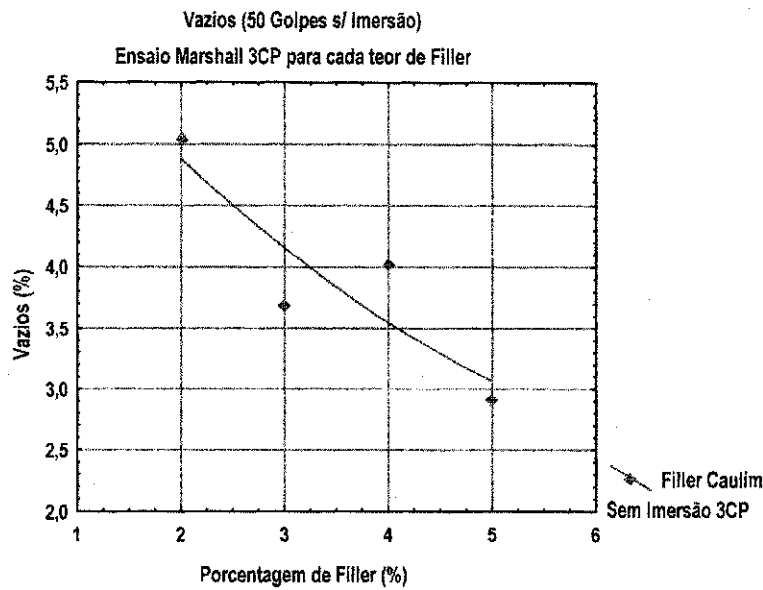


Figura 7.18 - Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão]

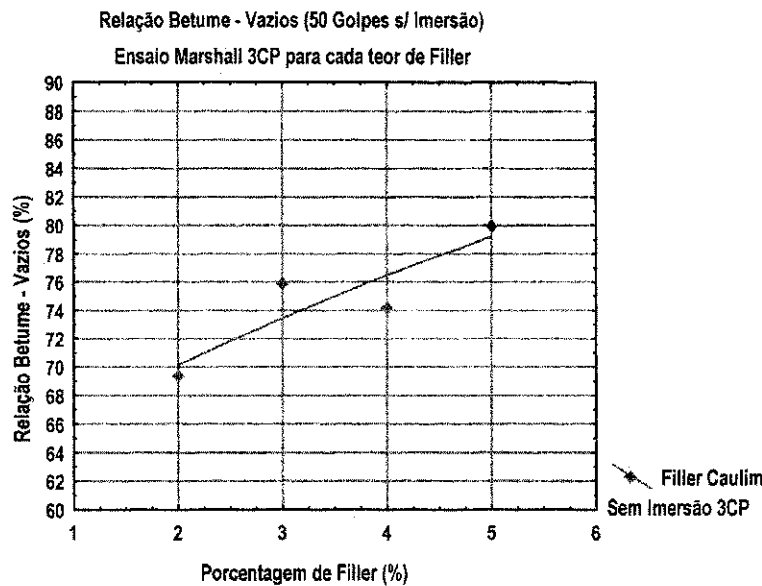


Figura 7.19 - Relação Betume Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão]

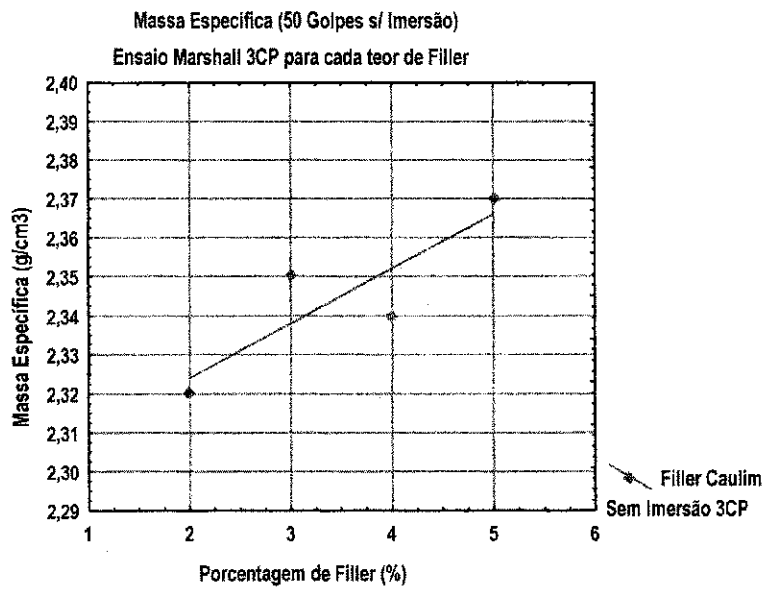


Figura 7.20 - Massa Específica em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Sem imersão]

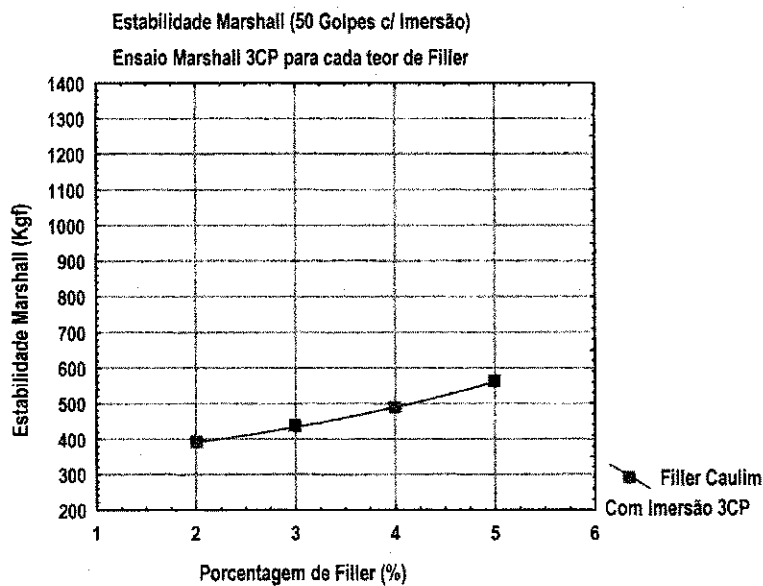


Figura 7.21 - Estabilidade em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]

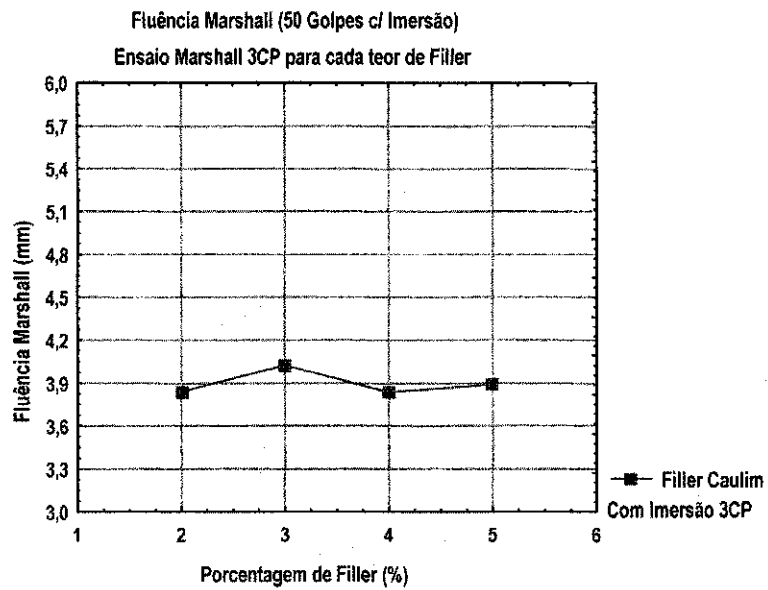


Figura 7.22 - Fluência em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]

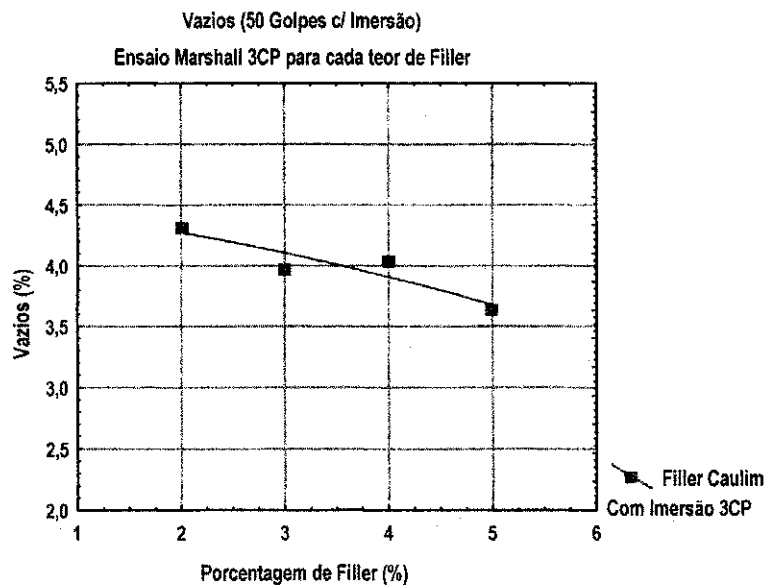


Figura 7.23 - Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]

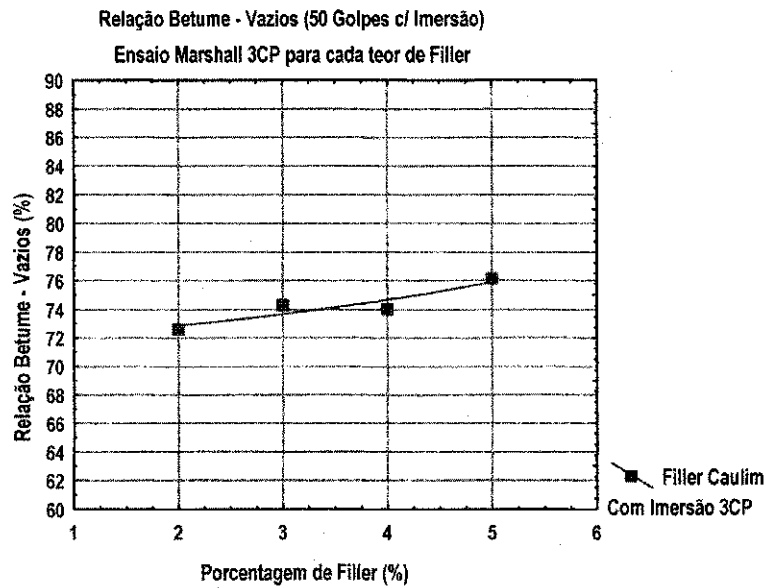


Figura 7.24 - Relação Betume Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]

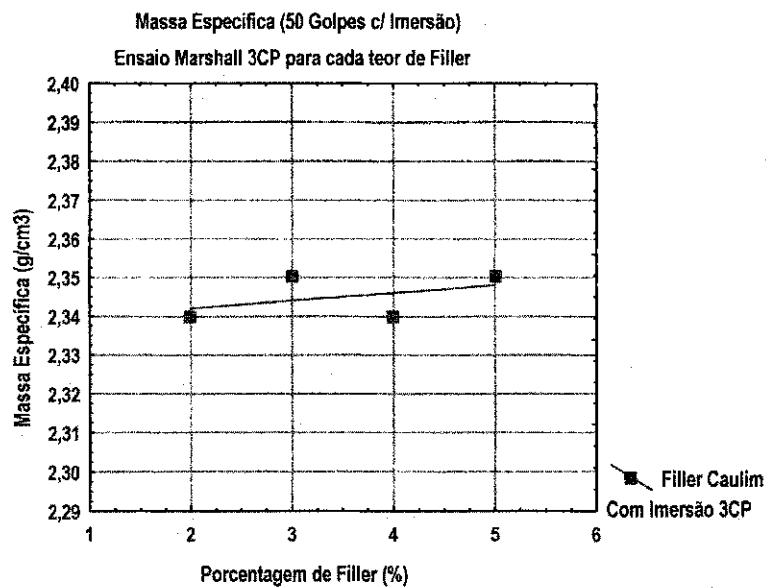


Figura 7.25 - Massa Especifica em função do percentual de filler resíduo do caulim [3CP / Com imersão]

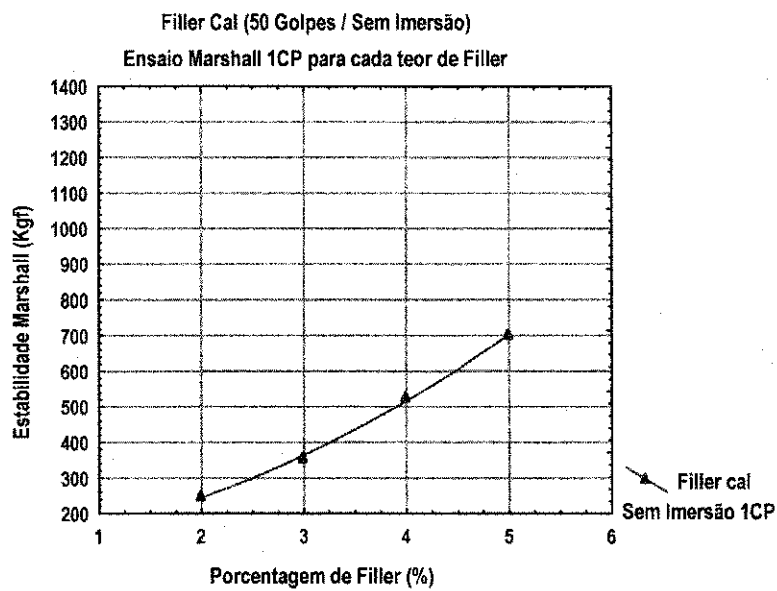


Figura 7.26 - Estabilidade em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]

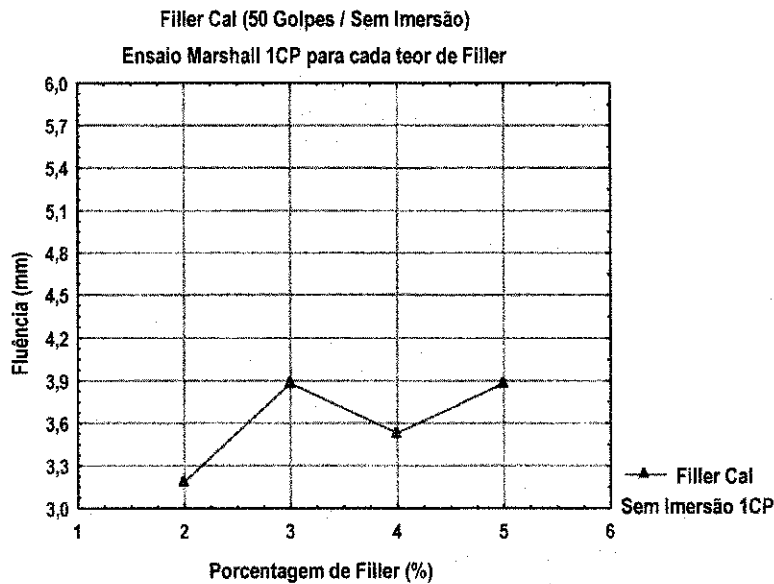


Figura 7.27 - Fluência em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]

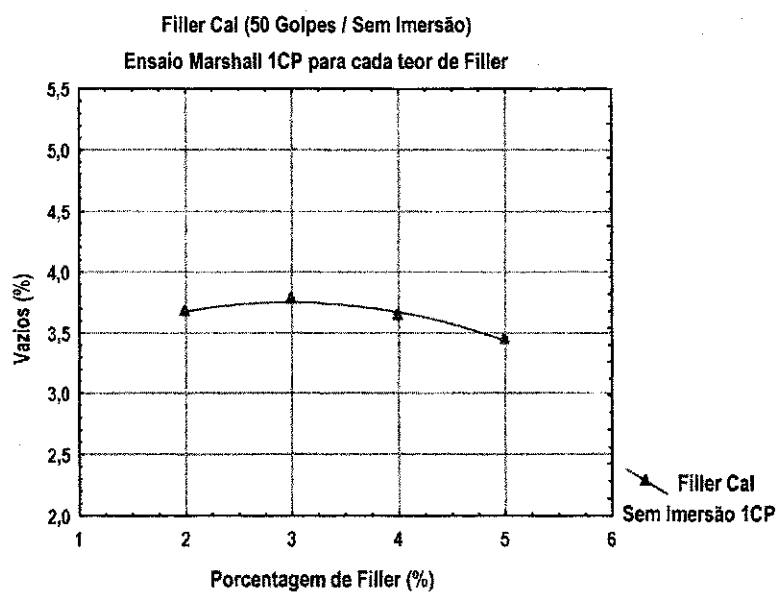


Figura 7.28 - Vazios em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]

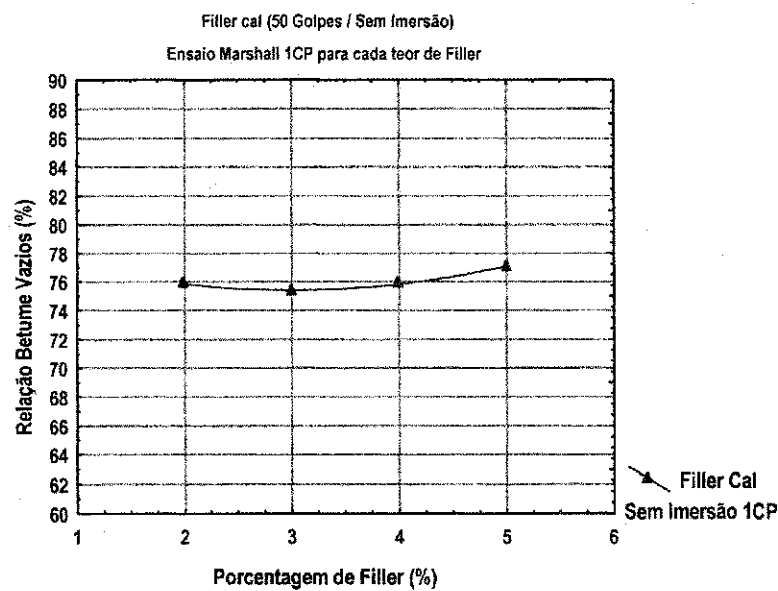


Figura 7.29 - Relação Betume Vazios em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]

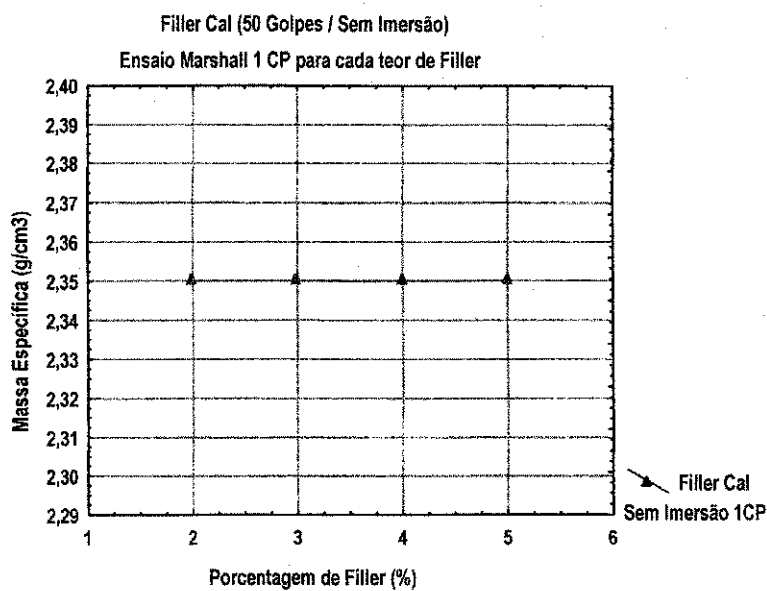


Figura 7.30 - Massa Específica em função do percentual de filler cal [1CP / Sem imersão]

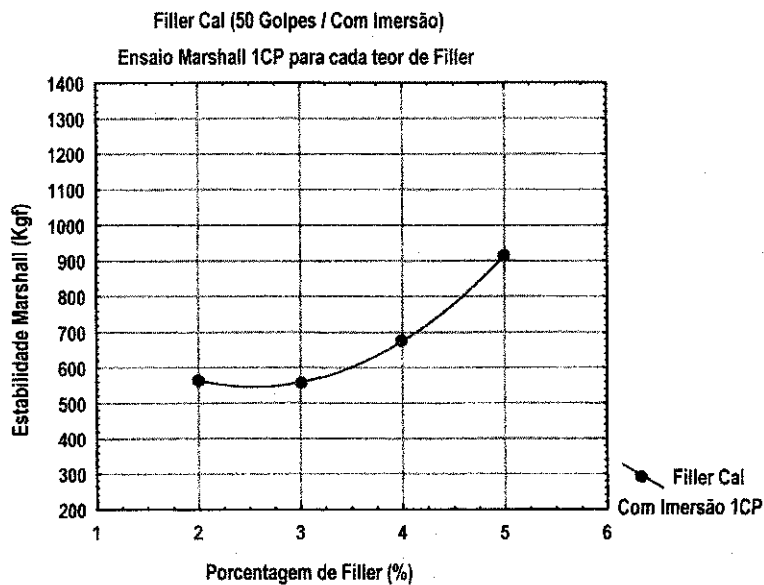


Figura 7.31 - Estabilidade em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]

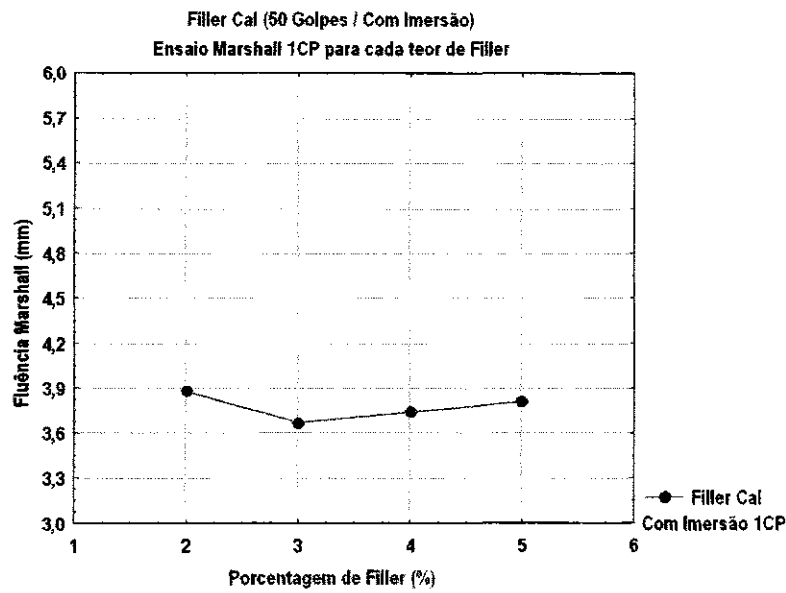


Figura 7.32 - Fluência em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]

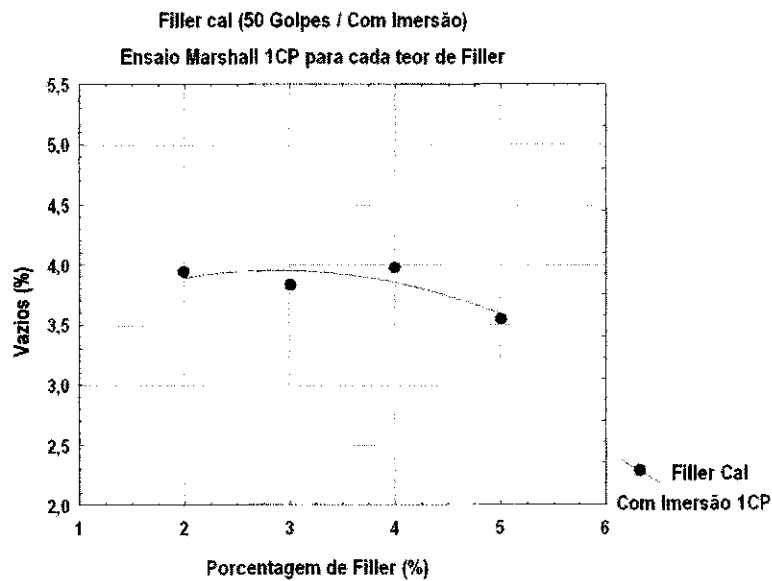


Figura 7.33 - Vazios em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]

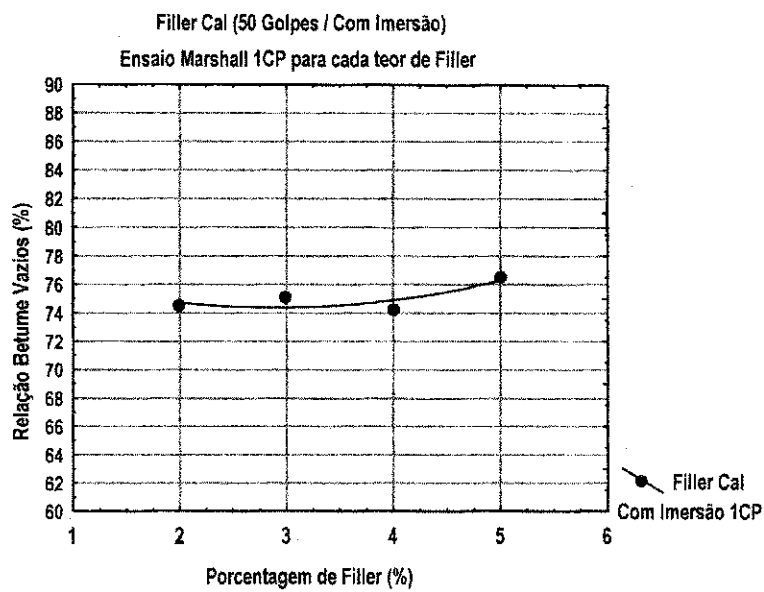


Figura 7.34 - Relação Betume Vazios em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]

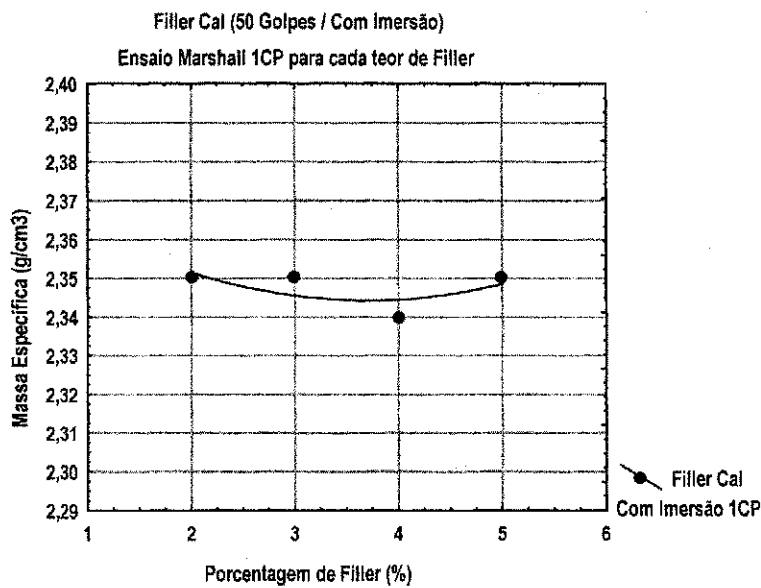


Figura 7.35 - Massa Específica em função do percentual de filler cal [1CP / Com imersão]

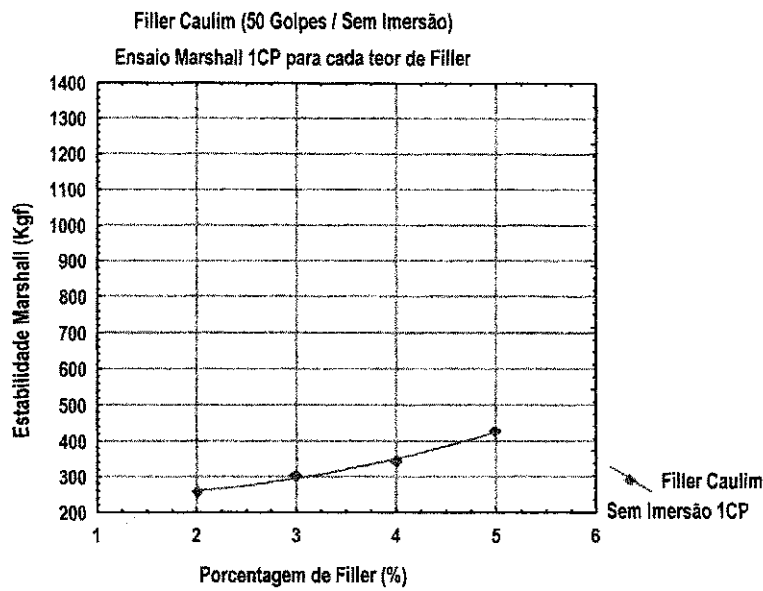


Figura 7.36 - Estabilidade em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]

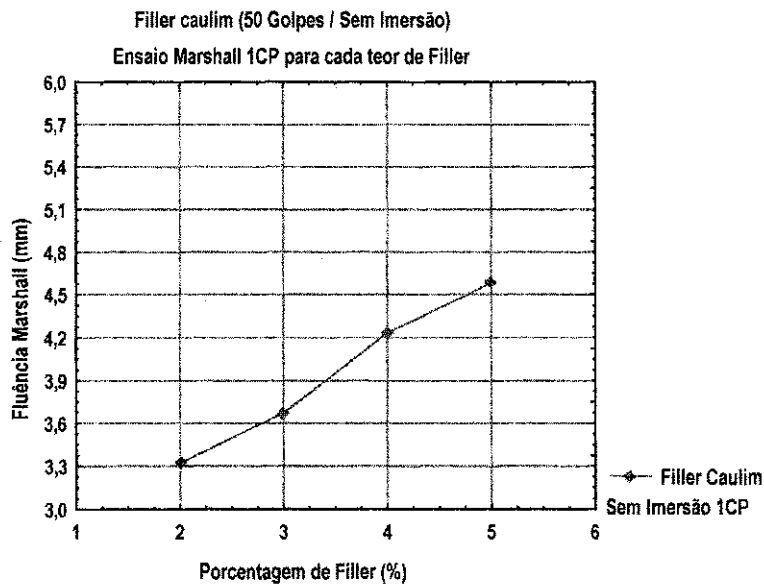


Figura 7.37 - Fluência em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]

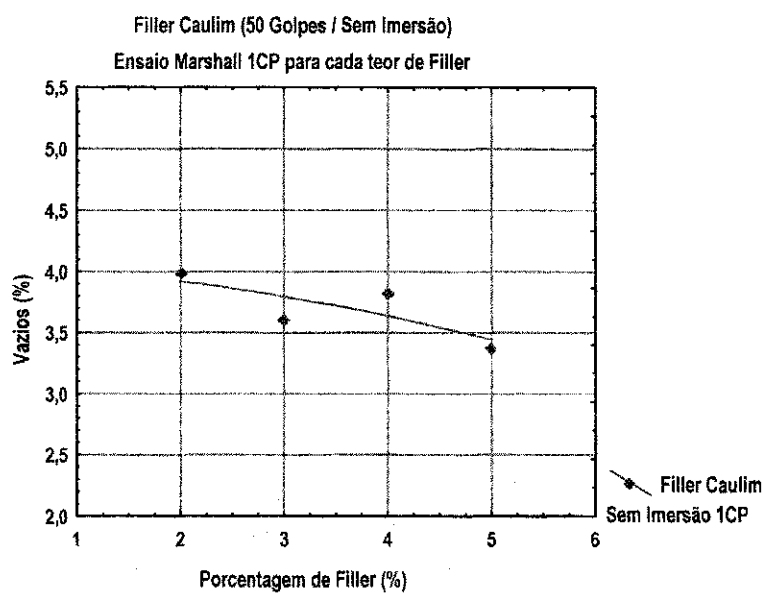


Figura 7.38 - Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]

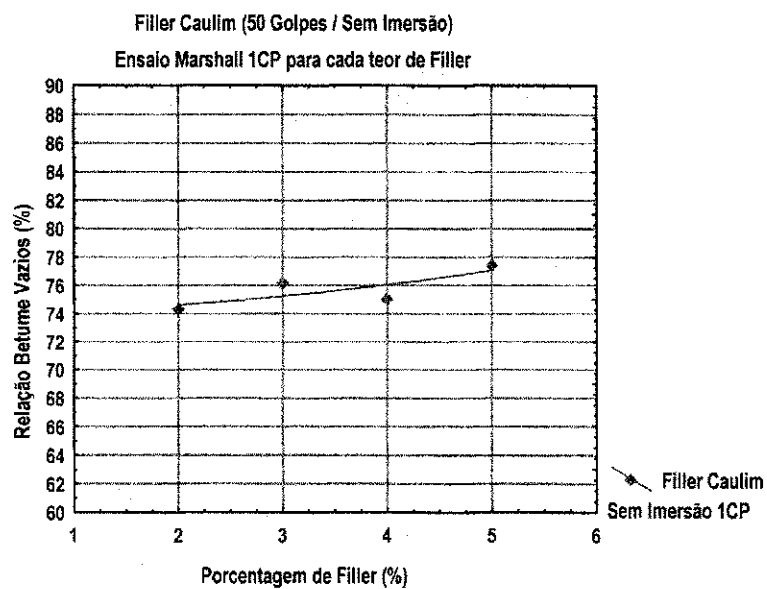


Figura 7.39 - Relação Betume Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]

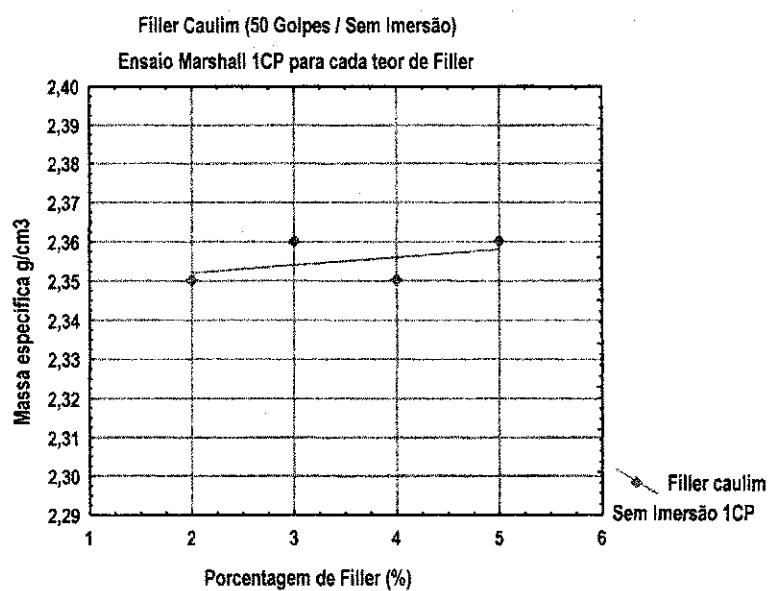


Figura 7.40 - Massa Específica em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Sem imersão]

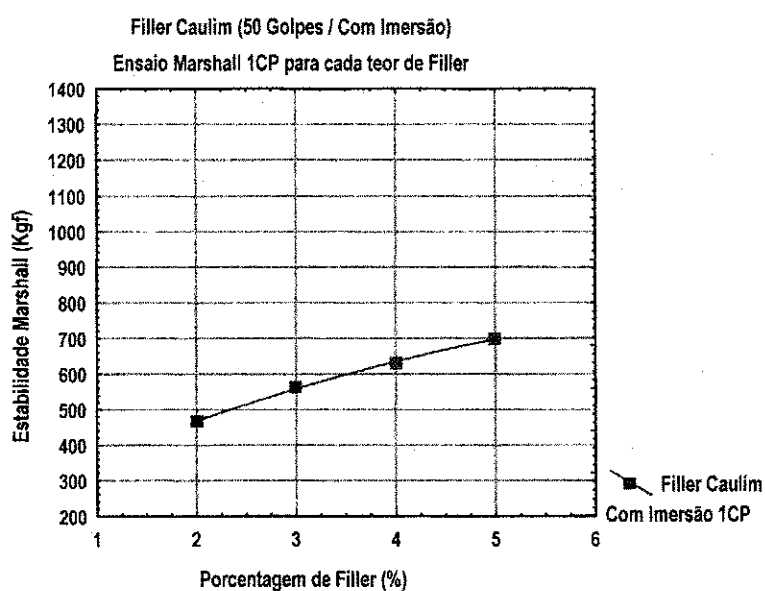


Figura 7.41 - Estabilidade em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]

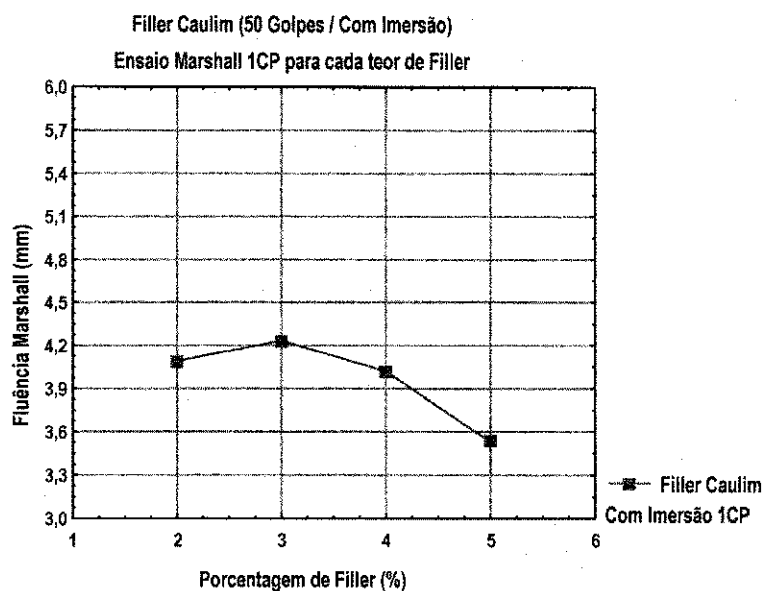


Figura 7.42 - Fluência em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]

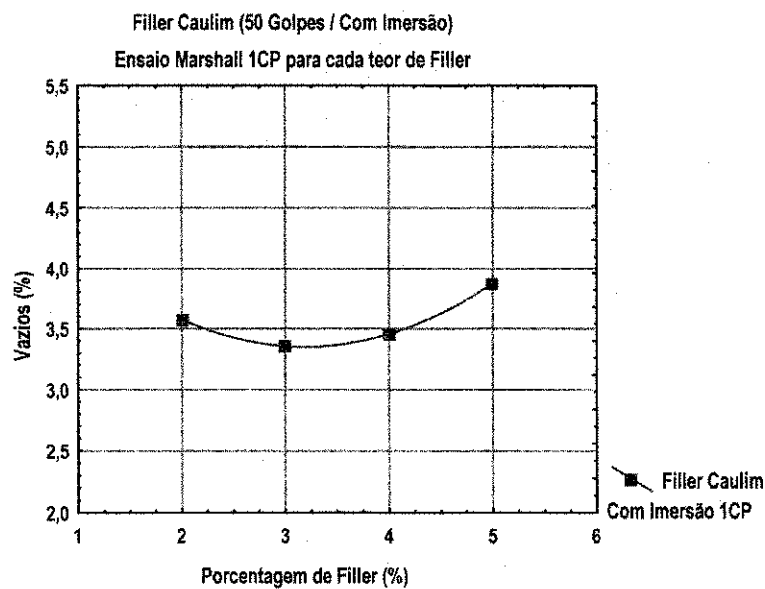


Figura 7.43 - Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]

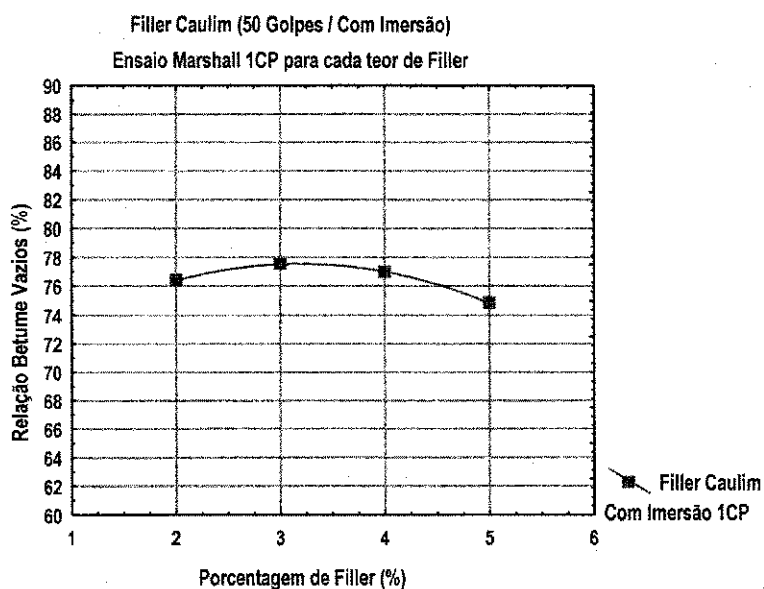


Figura 7.44 - Relação Betume Vazios em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]

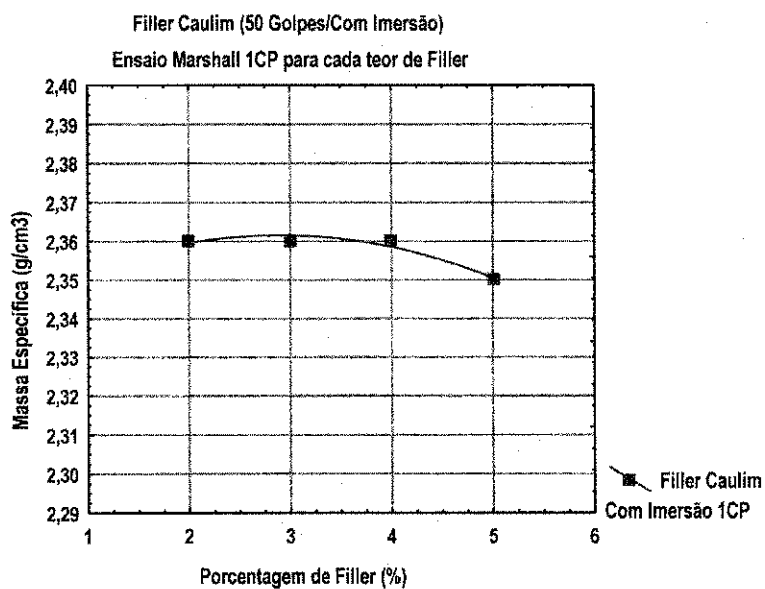


Figura 7.45 - Massa Específica em função do percentual de filler resíduo do caulim [1CP / Com imersão]

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 7.34 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RT1 – 3CP

Ensaio com auxílio do Pórtico de Lottman - Filer Cal - Sem Condicionamento - 3CP							
Número do CP	% de Filer	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de Ruptura	Carga Corrigida	RT1 (Kgf/cm ²)	Média RT1
1	2	6,60	10,00	475	940,98	9,08	8,06
2	2	6,49	10,00	380	752,78	7,38	
3	2	6,53	10,00	400	792,40	7,73	
4	3	6,54	10,00	387	766,65	7,46	7,44
5	3	6,52	10,00	380	752,78	7,35	
6	3	6,46	10,00	385	762,69	7,52	
7	4	6,40	10,00	430	851,83	8,47	8,18
8	4	6,43	10,00	435	861,74	8,53	
9	4	6,40	10,00	382	756,74	7,53	
10	5	6,41	10,00	465	921,17	9,15	8,44
11	5	6,41	10,00	420	832,02	8,26	
12	5	6,26	10,00	392	776,55	7,90	

Quadro 7.35 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RT2 – 3CP

Ensaio com auxílio do Pórtico de Lottman - Filer Cal – Com Condicionamento Prévio - 3CP							
Número do CP	% de Filer	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de Ruptura	Carga Corrigida	RT2 (Kgf/cm ²)	Média RT2
1	2	6,55	10,00	375	742,88	7,22	7,00
2	2	6,53	10,00	355	703,26	6,86	
3	2	6,57	10,00	360	713,16	6,91	
4	3	6,55	10,00	400	792,40	7,70	8,03
5	3	6,47	10,00	410	812,21	7,99	
6	3	6,45	10,00	430	851,83	8,41	
7	4	6,47	10,00	530	1049,93	10,33	10,08
8	4	6,50	10,00	530	1049,93	10,28	
9	4	6,56	10,00	500	990,50	9,61	
10	5	6,47	10,00	590	1168,79	11,50	11,82
11	5	6,53	10,00	570	1129,17	11,01	
12	5	6,42	10,00	660	1307,46	12,97	

Quadro 7.36 – Ensaio com auxílio do pórtilo de Lottman com o filler cal – RTT – 3CP

RRT – Relação de Resistência à Tração - Cal – 3CP		
% de Filer	RRT	RRT x 100 (%)
2	0,87	86,77
3	1,08	107,94
4	1,23	123,21
5	1,40	140,16

Quadro 7.37 – Ensaio com auxílio do pórtilo de Lottman com o filler residuo do caulim – RT1 – 3CP

Ensaio com o auxílio do Pórtilo de Lottman - Filer Residuo do Caulim - Sem Condicionamento – 3CP							
Número do CP	% de Filer	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de Ruptura	Carga Corrigida	RT1 (Kgf/cm ²)	Média RT1
1	2	6,60	10,00	525	1040,03	10,03	9,62
2	2	6,41	10,00	450	891,45	8,85	
3	2	6,58	10,00	520	1030,12	9,97	
4	3	6,54	10,00	480	950,88	9,26	9,02
5	3	6,51	10,00	425	841,93	8,23	
6	3	6,52	10,00	495	980,60	9,57	
7	4	6,50	10,00	515	1020,22	9,99	9,99
8	4	6,48	10,00	505	1000,41	9,83	
9	4	6,47	10,00	520	1030,12	10,14	
10	5	6,58	10,00	555	1099,46	10,64	10,49
11	5	6,43	10,00	505	1000,41	9,91	
12	5	6,58	10,00	570	1129,17	10,93	

Quadro 7.38 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler resíduo do caulim – RT2 – 3CP

Ensaio com o auxílio do Pórtico de Lottman - Filer Caulim – Com Condicionamento Prévio – 3CP							
Número do CP	% de Filer	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de Ruptura	Carga Corrigida	RT2 (Kgf /cm2)	Média RT2
1	2	6,54	10,00	480	950,88	9,26	8,28
2	2	6,59	10,00	500	990,50	9,57	
3	2	6,60	10,00	315	624,02	6,02	
4	3	6,55	10,00	360	713,16	6,93	8,16
5	3	6,42	10,00	480	950,88	9,43	
6	3	6,45	10,00	415	822,12	8,11	
7	4	6,35	10,00	470	931,07	9,33	9,28
8	4	6,34	10,00	570	1129,17	11,34	
9	4	6,34	10,00	360	713,16	7,16	
10	5	6,35	10,00	530	1049,93	10,53	10,57
11	5	6,38	10,00	510	1010,31	10,08	
12	5	6,37	10,00	560	1109,36	11,09	

Quadro 7.39 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler resíduo do caulim – RTT – 3CP

RRT – Relação de Resistência à Tração- Caulim – 3CP		
% de Filer	RRT	RRT x 100 (%)
2	0,86	86,11
3	0,90	90,43
4	0,93	92,91
5	1,01	100,72

Quadro 7.40 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RT1 – 1CP

Ensaio com auxílio do Pórtico de Lottman - Filer Cal - Sem Condicionamento - 1CP						
Número do CP	% de Filer	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de Ruptura	Carga Corrigida	RT1 (Kgf/cm2)
1	2	6,50	10,00	380	752,78	7,37
2	3	6,46	10,00	398	788,44	7,77
3	4	6,42	10,00	382	756,74	7,50
4	5	6,25	10,00	470	931,07	9,48

Quadro 7.41 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RT2 – 1CP

Ensaio com auxílio do Pórtico de Lottman - Filer Cal - Com Condicionamento Prévio – 1CP						
Número do CP	% de Filer	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de Ruptura	Carga Corrigida	RT2 (Kgf/cm2)
1	2	6,52	10,00	325	643,83	6,29
2	3	6,45	10,00	430	851,83	8,41
3	4	6,53	10,00	500	990,50	9,66
4	5	6,40	10,00	660	1307,46	13,01

Quadro 7.42 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler cal – RTT – 1CP

RRT – Relação de Resistência à Tração – Cal- 1CP		
% de Filer	RRT	RRT x 100 (%)
2	0,85	85,26
3	1,08	108,21
4	1,29	128,69
5	1,37	137,13

Quadro 7.43 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler residuo do caulim – RT1 – 1CP

Ensaio com auxílio do Pórtico de Lottman - Filer Caulim - Sem Condicionamento – 1CP						
Número do CP	% de Filer	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de Ruptura	Carga Corrigida	RT1 (Kgf /cm2)
1	2	6,45	10,00	390	772,59	7,63
2	3	6,40	10,00	398	788,44	7,84
3	4	6,41	10,00	450	891,45	8,85
4	5	6,30	10,00	490	970,69	9,81

Quadro 7.44 – Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler residuo do caulim – RT2 – 1CP

Ensaio com auxílio do Pórtico de Lottman - Filer Caulim - Com Condicionamento Prévio – 1CP						
Número do CP	% de Filer	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Carga de Ruptura	Carga Corrigida	RT2 (Kgf /cm2)
1	2	6,42	10,00	305	604,21	5,99
2	3	6,50	10,00	355	703,26	6,89
3	4	6,48	10,00	410	812,21	7,98
4	5	6,35	10,00	522	1034,08	10,37

Quadro 7.45 - Ensaio com auxílio do pórtico de Lottman com o filler residuo do caulim – RTT – 1CP

RRT – Relação de Resistência à Tração – Caulim – 1CP		
% de Filer	RRT	RRT x 100 (%)
2	0,79	78,57
3	0,88	87,82
4	0,90	90,13
5	1,06	105,69

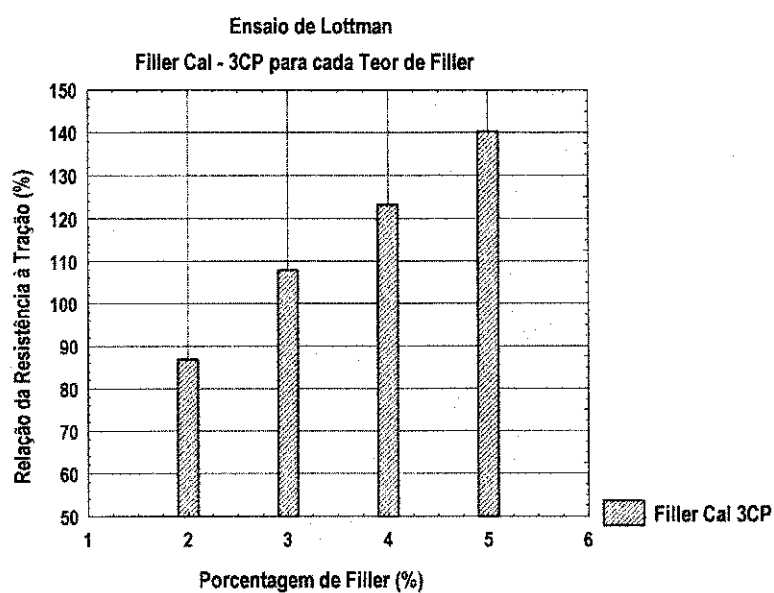


Figura 7.46 - Relação da resistência à tração em função do percentual de filler cal [3CP]

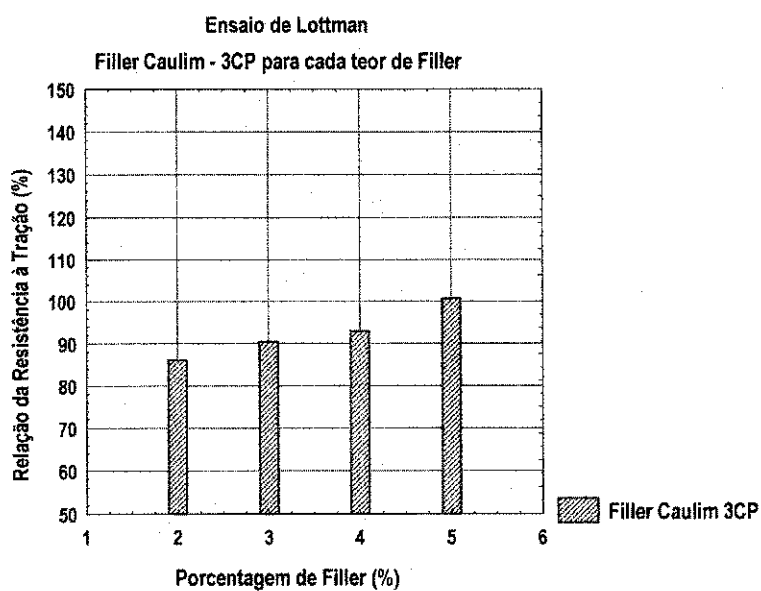


Figura 7.47 - Relação da resistência à tração em função do percentual de filler caulim [3CP]

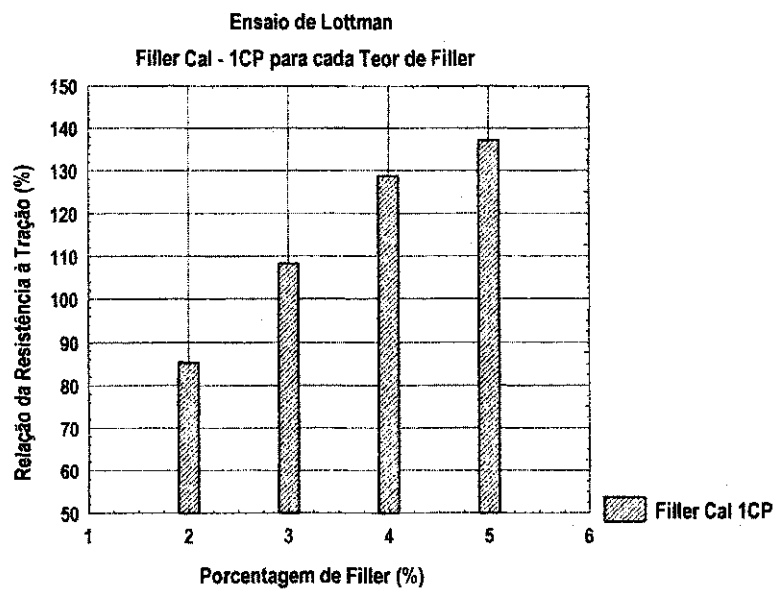


Figura 7.48 - Relação da resistência à tração em função do percentual de filler cal [1CP]

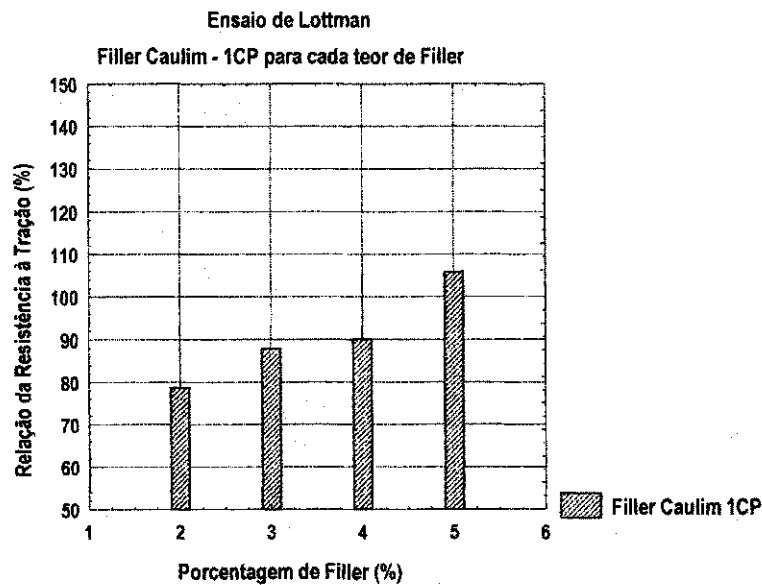


Figura 7.49 - Relação da resistência à tração em função do percentual de filler caulim [1CP]

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 7.46 – Ensaio de sedimentação do filler cal

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
UFCG - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº 01	
FILLER: CAL								
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA		
Cap.	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h %	% - Pedregulho > 4,8:	
AL-05	30,19	30,14	7,51	22,63	0,05	0,22	% - Areia grossa: 4,8 a 0,84	
AL-06	28,73	28,71	7,69	21,02	0,02	0,10	% - Areia média: 0,84 a 0,25	
DADOS			média:			0,16	% - 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						998,42	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						30,00	Argila < 0,005	
							hig mat. pas. na # 2,00 mm:	
N: % do mat. que passa na # de 2,00 mm				100,00		Massa Especifica dos Grãos do Solo:		2,45

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:	09195	Cáp. Nº:	AP-01

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	T (°C)	Ld	A	Diâmetro (mm)	Amostra Total (Qs)	h
25/08/04	07:50:30	0,50	1,020	26	1,0023	15,0	0,074	99,85	8,92
25/08/04	07:51:00	1,00	1,019	26	1,0023	15,2	0,053	94,21	8,92
25/08/04	07:52:00	2,00	1,019	26	1,0023	15,4	0,038	94,21	8,92
25/08/04	07:54:00	4,00	1,018	26	1,0023	16,0	0,027	88,57	8,92
25/08/04	07:58:00	8,00							
25/08/04	08:05:00	15,00							
25/08/04	08:20:00	30,00							
25/08/04	08:50:00	60,00							
25/08/04	09:50:00	120,00							
25/08/04	11:50:00	240,00							
25/08/04	13:50:00	480,00							
26/08/04	07:50:30	1440,00							

Quadro 7.47 - Ensaio de sedimentação do filler cimento

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
UFCG - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº 02	
FILLER: CIMENTO								
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA		
Cap.	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h %	% - Pedregulho > 4,8:	
AL-16	56,12	55,98	7,65	48,33	0,14	0,29	% - Areia grossa: 4,8 a 0,84	
AL-19	51,6	51,51	14,21	37,3	0,09	0,24	% - Areia media: 0,84 a 0,25	
DADOS			média:			0,27	% - 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						997,35	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						30,00	Argila < 0,005	
N: % do mat. que passa na # de 2,00 mm						100,00	hig mat. pas. na # 2,00 mm: 0,27	
						Massa Especifica dos Grãos do Solo:		3,08

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:	09195	Cáp.Nº:	AP-01

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	T (°C)	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (Qs)	h
25/08/04	07:50:30	0,50	1,020	26	1,0023	15,0	0,062	87,60	8,92
25/08/04	07:51:00	1,00	1,019	26	1,0023	15,2	0,044	82,65	8,92
25/08/04	07:52:00	2,00	1,019	26	1,0023	15,4	0,031	82,65	8,92
25/08/04	07:54:00	4,00	1,018	26	1,0023	15,8	0,023	77,70	8,92
25/08/04	07:58:00	8,00							
25/08/04	08:05:00	15,00							
25/08/04	08:20:00	30,00							
25/08/04	08:50:00	60,00							
25/08/04	09:50:00	120,00							
25/08/04	11:50:00	240,00							
25/08/04	13:50:00	480,00							
26/08/04	07:50:30	1440,00							

Quadro 7.48 - Ensaio de sedimentação do filler resíduo do caulim

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
UFCG - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº: 03	
FILLER: 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:	
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: 09/95	Cáp.Nº: AP-01
-----------	-------------	--------------	-----------------	---------------

SEDIMENTAÇÃO

Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	T (°C)	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (Qs)	h
25/08/04	07:50:30	0,50	1,018	26	1,0018	15,2	0,073	89,70	8,92
25/08/04	07:51:00	1,00	1,017	26	1,0018	15,4	0,052	84,17	8,92
25/08/04	07:52:00	2,00	1,017	26	1,0018	15,4	0,037	84,17	8,92
25/08/04	07:54:00	4,00	1,017	26	1,0018	14,8	0,025	84,17	8,92
25/08/04	07:58:00	8,00	1,017	26	1,0018	14,8	0,018	84,17	8,92
25/08/04	08:05:00	15,00	1,016	26	1,0018	15	0,013	78,63	8,92
25/08/04	08:20:00	30,00	1,015	26	1,0018	15,2	0,009	73,09	8,92
25/08/04	08:50:00	60,00	1,013	26	1,0018	15,8	0,007	62,02	8,92
25/08/04	09:50:00	120,00	1,011	26	1,0018	16,1	0,005	50,94	8,92
25/08/04	11:50:00	240,00	1,008	26	1,0018	16,9	0,003	34,33	8,92
25/08/04	13:50:00	480,00	1,006	28	1,0014	17,3	0,002	25,47	8,52
26/08/04	07:50:30	1440,00	1,004	26	1,0018	17,8	0,001	12,18	8,92

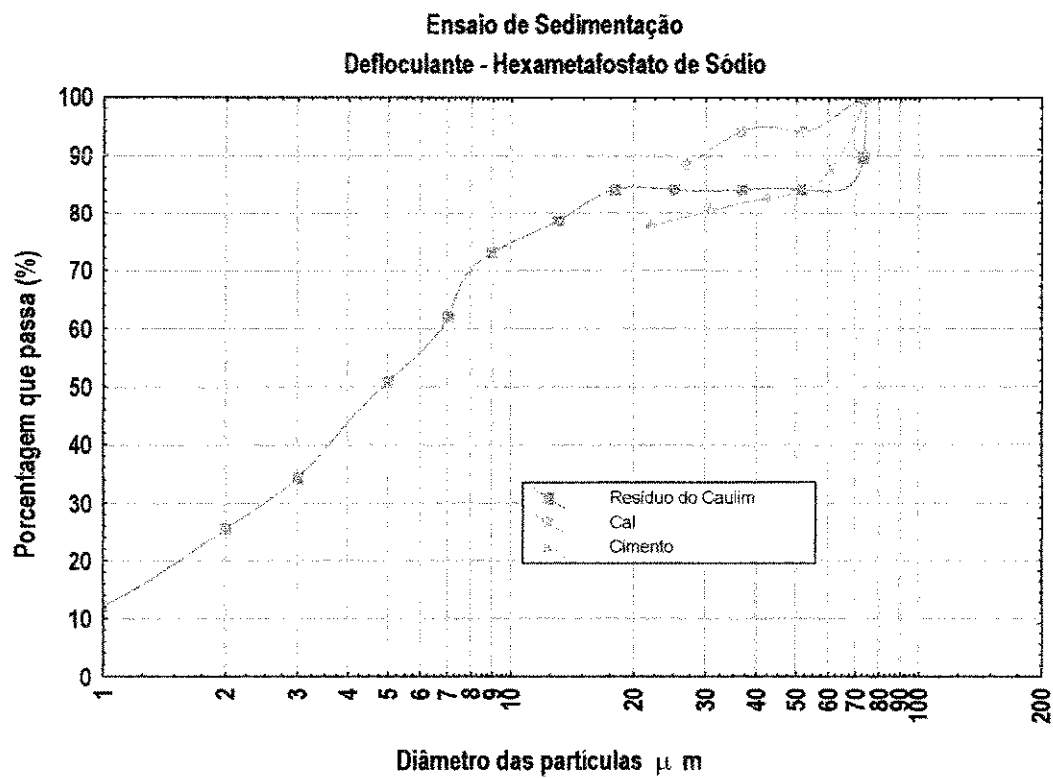


Figura 7.50 - Distribuição dos tamanhos das partículas dos filleres obtidas por sedimentação

7.5 - ANEXO E

7.5.1 - Distribuição dos tamanhos das partículas por difração a laser

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

Ref da amostra : caulim#200
 Type produit : Argila
 Client : UFCE
 Comentários : Gelmires
 Líquido : Água
 Agente dispersante : piro
 Operador : Normanda
 Empresa : UFCE
 Localização : Campina Grande - PB
 Data : 17/10/2005 Hora : 08:26:54
 Índice med. : 457

Ultrasom : 60 s
 Concentração : 193
 Diâmetro a 10% : 3.52 mu
 Diâmetro a 50% : 42.01 mu
 Diâmetro a 90% : 96.15 mu
 Diâmetro médio : 47.11 mu
 Fraunhofer
 Densidade/Fator : _____
 Superfície específica : _____
 Diluição automática : Não / Não
 Medida./Limp. : 60/60/3
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

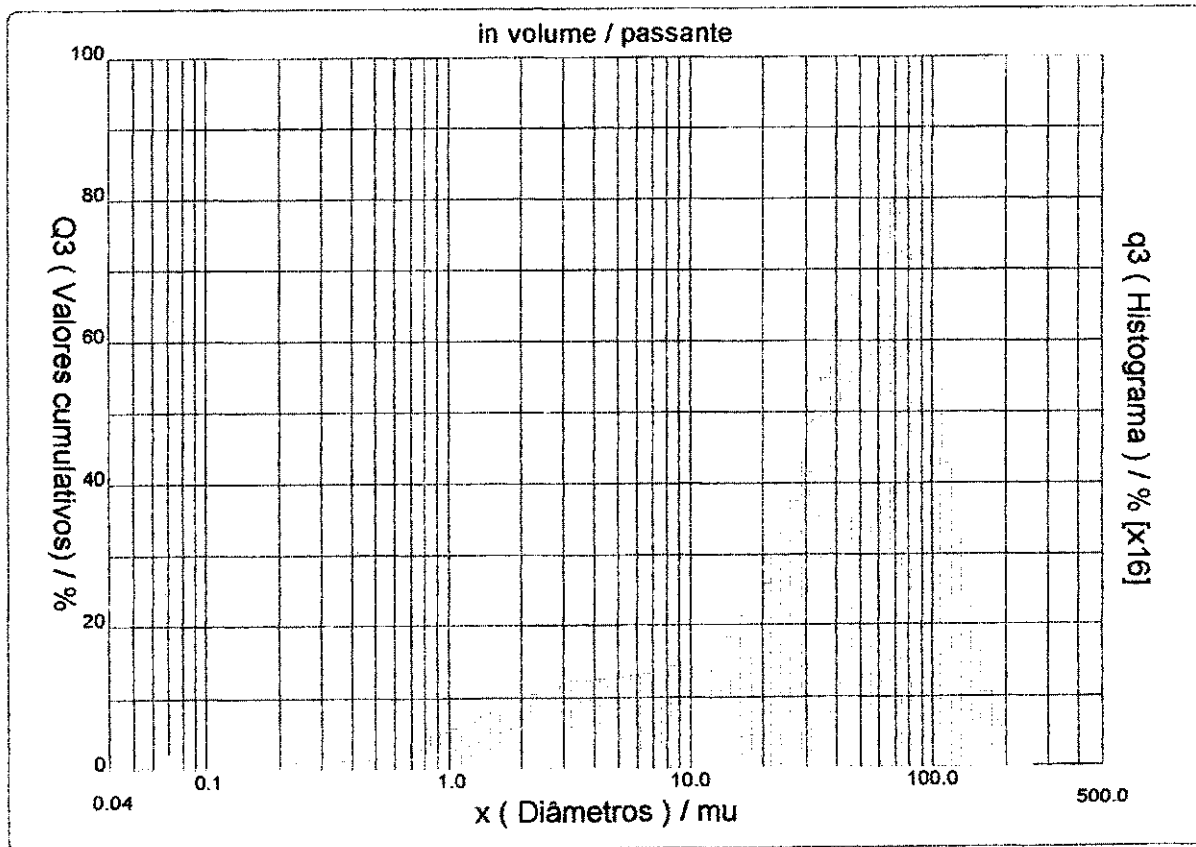
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.01	0.06	0.12	0.49	1.00	1.64	2.49	5.86	8.75	11.03

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	12.84	19.00	27.94	37.39	47.88	58.08	71.46	85.05	91.34	98.83

x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	16.59	32.51	69.55	84.91	240.00



Ref da amostra : caulim#200
 Type produit : Argila
 Client : UFCG
 Comentários : Gelmires
 Líquido : Água
 Agente dispersante : piro
 Operador : Normanda
 Empresa : UFCG
 Localização : Campina Grande - PB
 Data : 17/10/2005 Hora : 08:26:54
 Índice med. : 457

Ultrassom : 60 s
 Concentração : 193
 Diâmetro a 10% : 3.52 mu
 Diâmetro a 50% : 42.01 mu
 Diâmetro a 90% : 96.15 mu
 Diâmetro médio : 47.11 mu
 Fraunhofer
 Densidade/Fator : -----
 Superfície específica : -----
 Diluição automática : Não / Não
 Medida./Limp. : 60/60/3
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.01	0.06	0.12	0.36	0.61	0.82	1.00	1.22	1.48	1.80
q3	0.00	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.05	0.08	0.11	0.16
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	2.14	2.49	2.84	3.19	3.53	3.88	4.55	5.22	5.86	6.49
q3	0.19	0.22	0.24	0.27	0.28	0.31	0.33	0.38	0.40	0.44
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	7.09	7.67	8.22	8.75	9.25	9.73	10.18	10.62	11.03	11.62
q3	0.46	0.48	0.49	0.51	0.52	0.53	0.52	0.54	0.53	0.54
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	12.16	12.84	13.32	13.78	14.36	15.04	15.68	16.29	16.87	17.43
q3	0.53	0.54	0.55	0.56	0.56	0.57	0.58	0.59	0.60	0.62
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	17.97	19.00	19.98	20.93	21.85	22.74	23.62	24.49	25.35	26.21
q3	0.63	0.65	0.68	0.73	0.77	0.80	0.85	0.90	0.94	1.00
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	27.07	27.94	28.82	29.71	30.62	32.48	35.38	37.39	39.45	41.54
q3	1.06	1.13	1.20	1.27	1.36	1.49	1.70	1.94	2.13	2.30
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	43.65	45.76	47.88	51.01	53.07	58.08	60.97	63.75	67.29	69.83
q3	2.46	2.60	2.75	2.88	3.02	3.17	3.30	3.36	3.42	3.47
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	72.26	76.08	78.93	82.19	85.05	87.53	89.59	91.34	94.47	96.67
q3	3.48	3.48	3.46	3.36	3.14	2.89	2.54	2.27	1.84	1.33
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	97.28	98.21	98.83	99.25	99.53	99.72	99.84	99.91	99.96	99.99
q3	1.04	0.84	0.60	0.43	0.31	0.22	0.15	0.09	0.06	0.04
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %

Ref da amostra : borra caulim
 Type produit : Argila
 Client : UFCG
 Comentários : Gelmires
 Líquido : Água
 Agente dispersante : piro
 Operador : Normanda
 Empresa : UFCG
 Localização : Campina Grande - PB
 Data : 17/10/2005 Hora : 08:40:30
 Índice med. : 458

Ultrasom : 60 s
 Concentração : 167
 Diâmetro a 10% : 6.64 mu
 Diâmetro a 50% : 62.18 mu
 Diâmetro a 90% : 149.56 mu
 Diâmetro médio : 72.88 mu
 Fraunhofer
 Densidade/Fator : -----
 Superfície específica : -----
 Diluição automática : Não / Não
 Medida./Limp. : 60/60/3
 SOP : Argila

Valores cumulativos particulares

in volume / passante

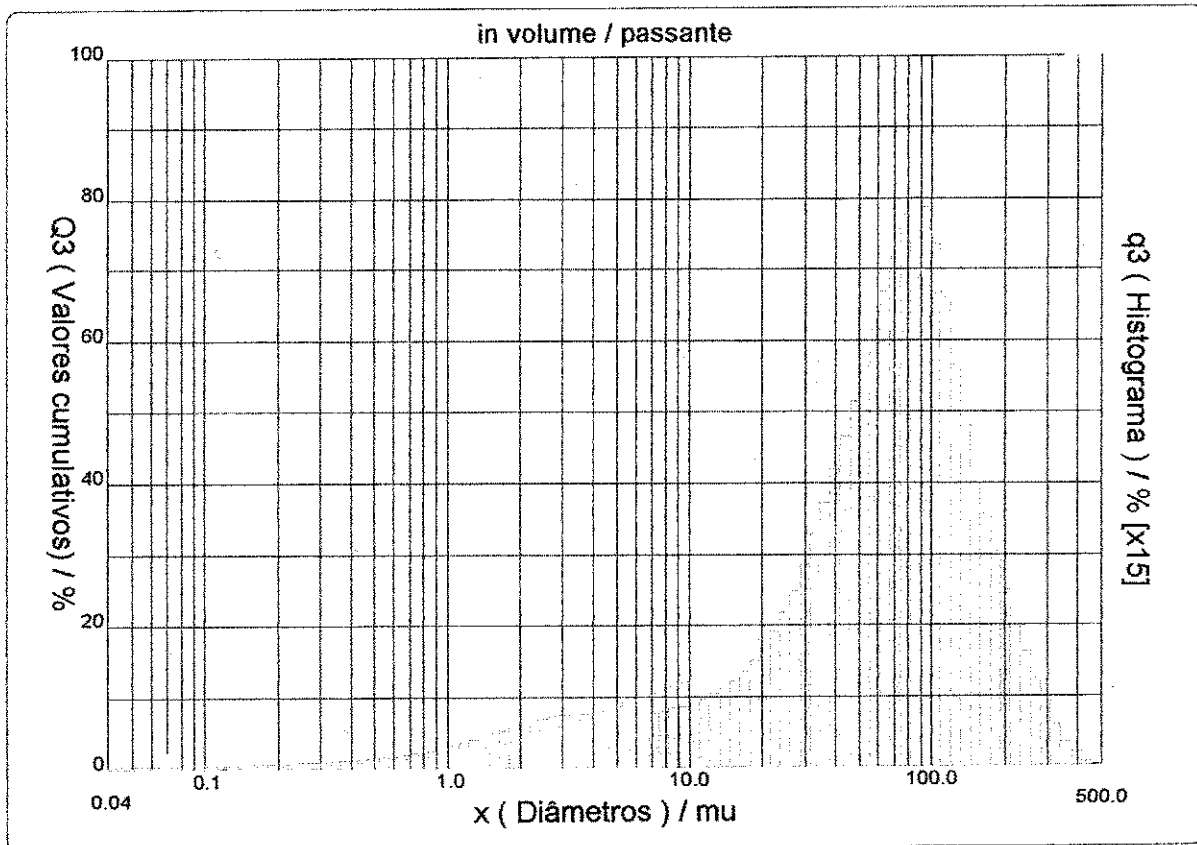
x	0.04	0.07	0.10	0.25	0.50	0.75	1.00	2.00	3.00	4.00
Q3	0.03	0.12	0.18	0.46	0.93	1.39	1.88	4.03	5.96	7.43

x	5.00	10.00	20.00	30.00	40.00	50.00	65.00	85.00	100.0	150.0
Q3	8.56	12.31	18.22	24.89	32.55	40.46	52.17	66.70	75.29	90.08

x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %

Porcentagem do usuário

%	25.00	40.00	75.00	85.00	100.0
Q3	30.14	49.39	99.43	126.35	400.00





DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA

CILAS 1064 Líquido

Faixa : 0.04 mu - 500.00 mu / 100 Classes



Ref da amostra : borra caulim
 Type produit : Argila
 Client : UFGG
 Comentários : Gelmires
 Líquido : Água
 Agente dispersante : piro
 Operador : Normanda
 Empresa : UFGG
 Localização : Campina Grande - PB
 Data : 17/10/2005 Hora : 08:40:30
 Índice med. : 458

Ultrasom : 60 s
 Concentração : 167
 Diâmetro a 10% : 6.64 mu
 Diâmetro a 50% : 62.18 mu
 Diâmetro a 90% : 149.56 mu
 Diâmetro médio : 72.88 mu
 Fraunhofer
 Densidade/Fator : -----
 Superfície específica : -----
 Diluição automática : Não / Não
 Medida./Limp. : 60/60/3
 SOP : Argila

Valores cumulados característicos

in volume / passante

x	0.04	0.07	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
Q3	0.03	0.12	0.18	0.37	0.55	0.74	0.93	1.11	1.30	1.49
q3	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09
x	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.60	1.80	2.00	2.20
Q3	1.68	1.88	2.09	2.30	2.52	2.73	3.17	3.60	4.03	4.45
q3	0.11	0.13	0.15	0.16	0.18	0.19	0.22	0.24	0.27	0.29
x	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.30
Q3	4.86	5.24	5.61	5.96	6.29	6.60	6.90	7.17	7.43	7.80
q3	0.31	0.31	0.33	0.34	0.34	0.34	0.35	0.33	0.34	0.34
x	4.60	5.00	5.30	5.60	6.00	6.50	7.00	7.50	8.00	8.50
Q3	8.14	8.56	8.85	9.13	9.48	9.89	10.27	10.64	10.99	11.34
q3	0.33	0.33	0.33	0.34	0.34	0.34	0.34	0.35	0.36	0.38
x	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00
Q3	11.67	12.31	12.92	13.52	14.11	14.69	15.27	15.85	16.43	17.02
q3	0.38	0.40	0.42	0.46	0.49	0.52	0.56	0.59	0.63	0.68
x	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	25.00	28.00	30.00	32.00	34.00
Q3	17.62	18.22	18.84	19.46	20.10	21.41	23.46	24.89	26.37	27.89
q3	0.73	0.77	0.84	0.88	0.95	1.04	1.20	1.37	1.52	1.66
x	36.00	38.00	40.00	43.00	45.00	50.00	53.00	56.00	60.00	63.00
Q3	29.42	30.98	32.55	34.92	36.51	40.46	42.82	45.17	48.30	50.62
q3	1.77	1.91	2.03	2.17	2.31	2.48	2.68	2.82	3.00	3.15
x	66.00	71.00	75.00	80.00	85.00	90.00	95.00	100.0	112.0	125.0
Q3	52.93	56.73	59.72	63.31	66.70	69.84	72.70	75.29	80.47	84.64
q3	3.29	3.44	3.61	3.68	3.70	3.64	3.50	3.34	3.02	2.51
x	130.0	140.0	150.0	160.0	170.0	180.0	190.0	200.0	212.0	224.0
Q3	85.95	88.20	90.08	91.66	92.99	94.12	95.06	95.86	96.66	97.32
q3	2.21	2.01	1.80	1.62	1.45	1.31	1.15	1.03	0.91	0.79
x	240.0	250.0	280.0	300.0	315.0	355.0	400.0	425.0	450.0	500.0
Q3	98.03	98.39	99.17	99.50	99.66	99.90	100.00	100.00	100.00	100.00
q3	0.68	0.58	0.46	0.32	0.22	0.13	0.06	0.00	0.00	0.00

x : diâmetro / mu Q3 : valor cumulativo / % q3 : Histograma / %