

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CAMPUS – CAMPINA GRANDE

ÁREA DE GEOTECNIA

**RESÍDUO PROVENIENTE DO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS: UMA ALTERNATIVA
DE UTILIZAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO**

FRANCISCO CÉLIO DE ARAÚJO ASSUNÇÃO LIMA

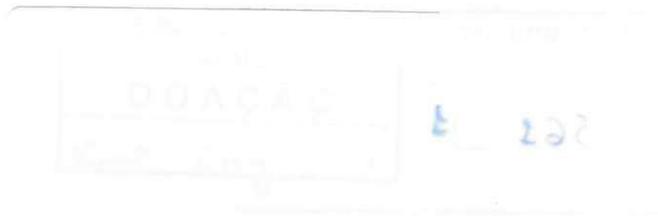
Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologia da Universidade Federal de Campina
Grande – Campina Grande-PB, como parte dos
requisitos necessários para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

Campina Grande – Paraíba

Março de 2003

FRANCISCO CÉLIO DE ARAÚJO ASSUNÇÃO LIMA

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. DOUTOR JOHN KENNEDY GUEDES RODRIGUES

ORIENTADOR

Campina Grande – Paraíba

Março de 2003



L752r Lima, Francisco Celio de Araujo Assuncao
Residuo proveniente do corte de rochas ornamentais : uma alternativa de utilizacao na pavimentacao / Francisco Celio de Araujo Assuncao Lima. - Campina Grande, 2003.
80 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciencias e Tecnologia.

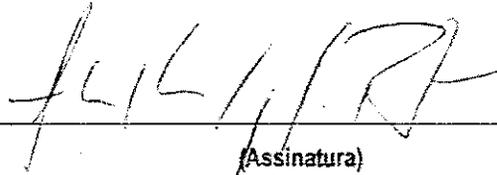
1. Utilizacao 2. Residuo 3. Rochas 4. Asfalto 5.
Dissertacao I. Rodrigues, John Kennedy Guedes II.
Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 628.54(043)

FOLHA DE APROVAÇÃO
AUTOR: FRANCISCO CÉLIO DE ARAÚJO ASSUNÇÃO LIMA
RESÍDUO PROVENIENTE DO CORTE DE ROCHAS
ORNAMENTAIS: UMA ALTERNATIVA DE UTILIZAÇÃO NA
PAVIMENTAÇÃO

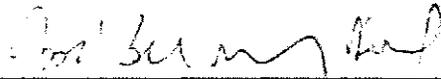
Dissertação Defendida e Aprovada em: 28.1.03.2002

BANCA EXAMINADORA



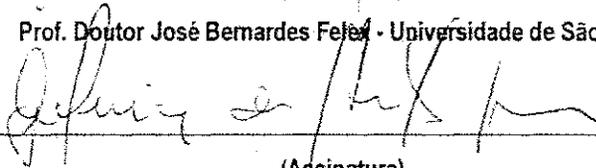
(Assinatura)

Prof. Doutor John Kennedy Guedes Rodrigues - Universidade Federal de Campina Grande



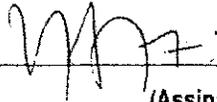
(Assinatura)

Prof. Doutor José Bernardes Feres - Universidade de São Paulo



(Assinatura)

Prof. Doutor Gelmires de Araújo Neves - Universidade Federal de Campina Grande



(Assinatura)

Prof. Doutor Gilmar Trindade de Araújo - Universidade Federal de Campina Grande

COORDENADOR DA ÁREA

Campina Grande – Paraíba

DEDICATÓRIA

Ao meu pai, José Edvan Teixeira Lima

A minha mãe, Fádía Maria de Araújo Assunção Lima

aos meus irmãos, e as minhas avós D. Ana Olga Teixeira Lima e

D. Maria Zilma de Araújo Assunção

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tornar possível a realização deste trabalho;

Ao orientador Professor Adjunto Doutor John Kennedy Guedes Rodrigues pela orientação e direção de aprendizado;

Agradeço a minha segunda família Seu Marcos Evangelista Castro, Dona Salete Brito Castro, Vivianni de Brito Castro, Marcos Felipe de Brito Castro, Juliana de Brito Castro, Neto e ao Thiago;

Agradeço também em especial ao meu grande amigo apesar de estarmos distante mas sempre esteve comigo nas horas mais difíceis Samuel Quezado Sampaio e a sua noiva Ticyana Rosa Machado Fujiwara.

Expresso meus sinceros agradecimentos aos colegas de mestrado Giselle Mariee, Elson, Adriano Lucena, Simone Lopes, Alan Feitosa com os quais dividi momentos inesquecíveis;

Aos amigos, Estevão José, Antônio Filho, Giordan Rodrigues Lima, Macel Wallace, Carlos André, Adriano Pereira, Frankstale, Lucas, e a Carol.

Aos meus irmãos, Ana Olga, Edvan Filho, Rafaela, as minha avós as que amo tanto, D. Ana Olga Texeira Lima, D. Zilma de Araújo Assunção, aos meus tios e primos em especial ao meu primo Iuri.

Ao coordenador, Professor Doutor Raimundo Leidmar Bezerra;

Ao Professor Ailton Diniz, ao Professor Geomires de Araújo Neves, ao Engenheiro Jaconias, e Machado e ao laboratorista Dé, e ao aluno de Iniciação Científica Pedro Nogueira PIBIC/CNPq/UFPB que muito ajudaram para obtenção dos resultados;

Aos professores do departamento pela base científica necessária para realização deste trabalho;

A ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior;

Aos funcionários do Departamento, Josenira, Rui e Nivaldo Sobreira, Marcos e seu Chiquinho;

Finalmente, agradeço a todos que contribuíram para realização deste trabalho.

I N D I C E

LISTA DE FIGURAS	III
LISTA DE FLUXOGRAMAS	VI
LISTA DE TABELAS	VII
LISTA DE SIGLAS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT	XI
CAPÍTULO 1	1
1.1 - INTRODUÇÃO	1
1.2 - OBJETIVOS	2
CAPÍTULO 2	3
REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 - Produção de Rochas Ornamentais	3
2.2 - Impactos Ambientais Causados Pela Extração dos Blocos de Granito	5
2.3 - Evolução Tecnológica nas Operações de Corte e Desdobramentos de Blocos de Granito	10
2.4 - Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)	10
2.4.1 - Classificações dos Cimentos Asfálticos	11
2.5 - Defeitos Característicos do CBUQ	12
2.5.1 - Parâmetros que Influenciam a Deformação Permanente	14
2.5.2 - Deformações Elásticas	16
2.6 - Ensaio Marshall	17
2.6.1 - Fatores que Influenciam os Resultados do Ensaio Marshall	19
2.7 - "Filler"	20
CAPÍTULO 3	22
MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 - Caracterização dos Materiais	23
3.1.1 - Agregado Graúdo	23
3.1.2 - Agregado Miúdo	23
3.1.3 - Resíduo da Serragem de Granitos "Filler"	23
3.1.4 - Cal "Filler"	24
3.1.5 - Cimento Portland "Filler"	25
3.1.6 - Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)	25
3.2 - Ensaio em Misturas	28
3.2.1 - Ensaio Marshall	29
3.2.2 - Variabilidade do Teor de "Filler"es e seus Efeitos	29
a) Ensaio de Penetração	29
b) Ensaio de Viscosidade Saybolt Furol	30

CAPÍTULO 4.....	32
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
4.1 - Caracterização dos materiais.....	32
4.1.1 - Agregado Graúdo.....	32
4.1.2 - Agregados Miúdos.....	32
4.1.3 - "Filler"es.....	32
a) Cal hidratada e o Cimento Portland.....	32
b) Resíduo.....	33
4.2.1 - Ensaio Marshall.....	40
a) Massa Específica Aparente.....	40
b) Estabilidade Marshall.....	41
c) Fluência Marshall.....	42
d) Relação Betume - Vazios.....	43
e) Volume de Vazios.....	44
4.2.2 - Variabilidade do teor de "Filler" e seus Efeitos.....	45
a) Massa Específica Aparente.....	45
b) Estabilidade Marshall.....	46
c) Fluência Marshall.....	47
d) Relação Betume - Vazios.....	48
e) Volume de Vazios.....	49
4.2.3 - Ensaio Marshall - 50 Golpes com e sem Imersão.....	50
a) Massa Específica Aparente.....	50
b) Estabilidade Marshall.....	52
c) Fluência Marshall.....	53
d) Relação Betume - Vazios.....	54
e) Volume de Vazios.....	56
4.2.4 - Ensaio Marshall - 75 Golpes com e sem Imersão.....	57
a) Massa Específica Aparente.....	57
b) Estabilidade Marshall.....	59
c) Fluência Marshall.....	61
d) Relação Betume - Vazios.....	62
e) Volume de Vazios.....	63
4.2.5 - Ensaio de Penetração.....	66
4.2.6 - Viscosidade Saybolt Furol.....	69
CAPÍTULO 5.....	74
5.1 - CONCLUSÕES.....	74
5.2 - SUGESTÕES.....	75
CAPÍTULO 6.....	76
6.1 - REFERÊNCIAS.....	76
6.2 - ANEXOS.....	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Extração de blocos de granito (a) e (b).....	4
Figura 2 – Transformação dos blocos de granito em placas com a utilização de mistura abrasiva	4
Figura 3 – Corte e acabamento das placas de granito.....	5
Figura 4 – (a) Estrutura de corte, polimento de rochas e (b) Silos de armazenagem de resíduos na Indústria POLYGRAN.....	7
Figura 5 – Resíduo proveniente do corte de rochas na Indústria POLYGRAN.....	7
Figura 6 – Deposição final do excesso de resíduo proveniente do corte de rochas ornamentais na Indústria POLYGRAN.....	8
Figura 7 - Trinca por Fadiga tipo Couro de Jacaré.....	16
Figura 8 – Resíduo proveniente da serragem de granitos Polygram.....	24
Figura 9 – Alguns dos ensaios utilizados durante a pesquisas.....	27
Figura 10 - Distribuição dos Tamanhos de Grãos - Ensaio de Sedimentação.....	33
Figura 11 - Curva de distribuição do tamanho das partículas obtida pelo método de sedimentação e através de absorção de luz óptica – (Lima, 2003 e NEVES, 2002).....	34
Figura 12 - Análise Termodiferencial do Resíduo.....	36
Figura 13 - Análise Termogravimétrica do Resíduo.....	36
Figura 14 - Difração de raios – X do resíduo estudado.....	37
Figura 15 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise por microsonda de Energia Dispersiva (EDS) do resíduo	38
Figura 16 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise por microsonda de Energia Dispersiva (EDS) do resíduo prensado	39
Figura 17 – Tendências da Massa Específica Aparente ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”.....	41
Figura 18 - Tendências da Estabilidade ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”	42
Figura 19 - Tendências da Fluência ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”	43
Figura 20 - Tendências da Relação Betume-Vazios ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”.....	44

Figura 21 - Tendências de Volume de Vazios "Filler"es Cal, Cimento e Resíduo.....	45
Figura 22 - Massa Específica Aparente das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler" Resíduo.....	46
Figura 23 - Estabilidade das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler" Resíduo.....	47
Figura 24 - Fluência das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler" Resíduo.....	48
Figura 25 - Relação Betume-Vazios das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler" Resíduo.....	49
Figura 26 - Volume de vazios das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler" Resíduo.....	50
Figura 27 - Massa Específica Aparente e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ e s/ Imersão.....	51
Figura 28 - Estabilidade Marshall e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ e s/ Imersão.....	52
Figura 29 - Fluência Marshall e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ e s/ Imersão.....	53
Figura 30 - RBV e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ e s/ Imersão.....	55
Figura 31 - Volume de Vazios e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ e s/ Imersão.....	56
Figura 32 - Massa Específica Aparente e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão.....	58
Figura 33 - Estabilidade Marshall e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão.....	60
Figura 34 - Fluência e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão.....	61
Figura 35 - RBV e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão.....	62
Figura 36 Volume de Vazios e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão.....	64
Figura 37 - Estabilidade Marshall e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 e 50 Golpes c/ e s/ Imersão.....	65
Figura 38 - Penetração para mistura CAP50/60 com os "Filler"es CAL, Cimento Portland e Resíduo em função do incremento da relação "Filler"/CAP50/60 sobre amostra do ensaio.....	66
Figura 39 - Penetração para mistura CAP50/60 com os "Filler"es CAL, Cimento Portland e Resíduo em função do incremento da relação "Filler"/CAP50/60 sobre amostra total do ensaio.....	67
Figura 40 - Penetração para mistura CAP70 com os "Filler"es Kaolin Clay, Fuller's Earth e Limestone Dust em função do incremento da relação "Filler"/CAP70 (PUZINAUSKAS, 1983) sobre amostra total para o ensaio.....	68
Figura 41 - Viscosidade Saybolt Furol para o CAP50/60 com os "Filler"es Cal, Cimento Portland e Resíduo em função do incremento da relação "Filler"/CAP50/60 sobre amostra total do ensaio.....	70

Figura 42 - Viscosidade Saybolt Furol para o CAP50/60 com os "Filler"es Cal, Cimento Portland e Resíduo em função do incremento da relação "Filler"/CAP50/60 sobre amostra do ensaio.....	71
Figura 43 - Viscosidade Cinemática para o CAP 70 (6 Poises) em função do incremento da relação em volume de "Filler"/CAP70 (PUZINAUSKAS, 1983).....	72

LISTA DE FLUXOGRAMAS

Fluxograma 1 – Fluxo poluente da serragem de granitos de rochas ornamentais (Fonte: SOUZA, 2001).....	9
Fluxograma 2 - Seqüência de atividades e de ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa	22
Fluxograma 3 - Seqüência adotada para a realização dos ensaios Marshall.....	30
Fluxograma 4 - Seqüência adotada para a realização dos ensaios de Penetração.....	30
Fluxograma 5 - Seqüência adotada para a realização dos ensaios de Viscosidade Saybol-Furol.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas de solidificação viscosa (IBP, 1992)	13
Tabela 2 - Valores limites para VV (%) e RBV (%).....	19
Tabela 3 - Normas utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização do CAP utilizado na pesquisa ...	25
Tabela 4 - Norma utilizada para enquadrar os materiais na Faixa do DNER.....	28
Tabela 5 - Normas utilizadas para caracterização dos agregados e "Filler"es utilizados na pesquisa	28
Tabela 6 - Massa específica real dos resíduos estudados	33
Tabela 7 - Distribuição dos Tamanhos de Grãos - Ensaio de Sedimentação (LIMA, 2003)	34
Tabela 8 - Distribuição dos Tamanhos de Grãos - Ensaio de Sedimentação (NEVES, 2002).....	34
Tabela 9 - Área específica (AE) do resíduo estudado.....	35
Tabela 10 - Composição química do resíduo no estado natural	35
Tabela 11 - Composição química do resíduo após o tratamento de desferrização	35
Tabela 12 - Características do Cimento Asfáltico.....	39
Tabela 13 - Distribuição dos Tamanhos dos Grãos dos Agregados, "Filler"es e Limites Percentuais da Faixa "C" do DNER	40
Tabela 14 - Estatísticas da massa específica aparente das misturas asfálticas (50 Golpes c/ e s/ imersão)	51
Tabela 15 - Estatísticas da estabilidade Marshall das misturas asfálticas (50 Golpes c/ e s/ imersão)	52
Tabela 16 - Estatísticas da fluência Marshall das misturas asfálticas (50 Golpes c/ e s/ imersão)	54
Tabela 17 - Estatísticas de RBV das misturas asfálticas (50 Golpes).....	55
Tabela 18 - Estatísticas de vazios das misturas asfálticas (50 Golpes c/ e s/ imersão)	57
Tabela 19 - Estatísticas da massa específica aparente das misturas asfálticas (75 Golpes c e s/imersão)	59
Tabela 20 - Estatísticas da estabilidade Marshall das misturas asfálticas (75 Golpes c e s/ imersão)	60
Tabela 21 - Estatísticas da fluência Marshall das misturas asfálticas (75 Golpes c/ e s/ imersão)	62
Tabela 22 - Estatísticas de RBV das misturas asfálticas (75 Golpes c/ e s/ imersão)	63

Tabela 23 Estatísticas de volume de vazios das misturas asfálticas (75 Golpes <i>c/</i> e <i>s/</i> imersão).....	64
Tabela 24 – Equações obtidas para estimativa da penetração em função da quantidade de "filler"	67
Tabela 25 –Penetração para mistura CAP50/60 com os "Filler"es.....	68
Tabela 26 – Pesos e percentuais de "Filler" e CAP para realização de ensaios de penetração.....	68
Tabela 27 – Pesos e percentuais de agregados, "Filler" e CAP correspondentes ao teor ótimo de asfalto a partir do ensaio Marshall.....	69
Tabela 28 –Viscosidade Saybolt furol para mistura CAP50/60 com os "Filler"es.....	71
Tabela 29 - Pesos e percentuais de "Filler" e CAP para realização de ensaios de Viscosidade Saybolt furol.....	71
Tabela 30 - Equações obtidas para estimativa da viscosidade Saybolt furol em função da quantidade de "filler"	72

RESUMO

LIMA, FRANCISCO CÉLIO DE ARAÚJO ASSUNÇÃO (2003). Resíduo Proveniente do Corte de Rochas Ornamentais: Uma Alternativa de Utilização na Pavimentação. Campina Grande, Paraíba, 2003. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande.

O Brasil é o quarto exportador de granitos brutos, sexto exportador de rochas em volume físico, e 12ª de rochas processadas, sua produção anual é de 5 milhões de toneladas com uma taxa de crescimento de 6%. Cerca de 25% dos blocos serrados transforma-se em resíduo. Representantes de várias indústrias do setor têm procurado um processo que o torne um produto utilizável. A partir da suas caracterizações químicas, físicas e granulares optou-se em verificar seu comportamento como "“Filler”" nos Concretos Asfálticos Usinado à Quente. Através de análises entre resultados obtidos a partir de ensaios, Marshall, Penetração e Viscosidade Saybolt Furol, com materiais de uso convencional, como a Cal e o Cimento Portland, foi possível inferir que: "o resíduo, quando associado ao CAP" gera um aumento de estabilidade maior que o Cimento, sem no entanto, tornar o CBUQ tão rígido quanto a Cal o faz.

Palavras chaves: Utilização, Resíduo, Rochas, Asfalto.

ABSTRACT

LIMA, FRANCISCO CÉLIO DE ARAÚJO ASSUNÇÃO (2003). Resíduo Proveniente do Corte de Rochas Ornamentais: Uma Alternativa de Utilização na Pavimentação. Campina Grande, Paraíba, 2003. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Campina Grande.

Brazil is ranked fourth, sixth and twelfth in the world market of granite, and crude and processed rocks, respectively. Rock extraction in Brazil reaches 5,000,000 ton/year and shows an annual 6% increase rate. Up to 25% of the extracted material becomes useless residue, and representatives of the rock processing industries have been looking for a useful destination to it. Based on chemical, physical and granular characteristics of this residue, its use as "Filler" in Hot Mix Asphalt was investigated. Marshall, Penetration and Saybolt Furol Viscosity trials showed that the use of granite powder associated with HMA results in a higher stability increase in the asphalt mixture compared to Portland cement, and did not make the mixture as rigid as the mixture in which the "Filler" was whitewash.

Words keys: Use, Residue, Rocks, Asphalt.

CAPÍTULO 1

1.1 - INTRODUÇÃO

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

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

Existem inúmeros tipos de resíduos dentre o que se pode destacar é o resíduo da serragem de blocos de granito, que este além de proporcionar uma desconfiguração na paisagem, provoca também a contaminação de rios, solos. Devido a grande produção deste material principalmente por parte de empresas que trabalham no setor de exploração de rochas ornamentais, tem-se procurado realizar trabalhos para utilizar este material como material de reaproveitamento, principalmente na construção civil em especial na pavimentação.

Em um concreto asfáltico, ou melhor, em qualquer mistura asfáltica densa, o agregado graúdo tem os vazios preenchidos pelo agregado miúdo sendo necessária uma certa quantidade de pó mineral para preencher parte dos vazios. Ao qual dar-se na língua inglesa o nome genérico de "Filler".

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

Deve-se observar que, o uso do "Filler" nas misturas asfálticas é importante principalmente na melhoria da adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados graúdo e miúdo, onde também se observa uma redução na absorção da água, nas perdas de resistência (estabilidade e resistência à tração) após o período de imersão prolongado e também na redução do envelhecimento das misturas asfálticas.

Atualmente, a maioria dos órgãos rodoviários tem visto que a adição do "Filler" as misturas asfálticas tem aumentado consideravelmente a vida de serviço dos pavimentos, pois independente do tipo de "Filler" usado a principal função deste é a de preencher os vazios deixados entre as partículas de agregados miúdos e graúdos. Há algum tempo tem se observado a retirada do uso do "Filler" calcário em substituição a um outro tipo de "Filler" (pó de pedra), devido o elevado custo que o "Filler" calcário proporciona em relação ao "Filler" de pó de pedra.

1.2 - OBJETIVOS

Devido a enorme quantidade de rejeito gerado principalmente pelas indústrias de rochas ornamentais, e onde um dos grandes problemas dessas indústrias é a falta de locais para poder armazenar esse rejeito de forma correta, tem-se procurado estudar uma forma desse tipo de material ter algum proveito principalmente na construção civil, em especial na pavimentação.

O presente trabalho tem como objetivo, um estudo sobre a utilização do rejeito proveniente da serragem do granito, nos concretos asfálticos, como "Filler" em substituição aos materiais de convencionas como a Cal e o Cimento Portland. Procura-se, desta forma, o reaproveitamento desse tipo de material e a redução dos impactos ambientais que a sua deposição proporciona ao meio ambiente.

CAPÍTULO 2

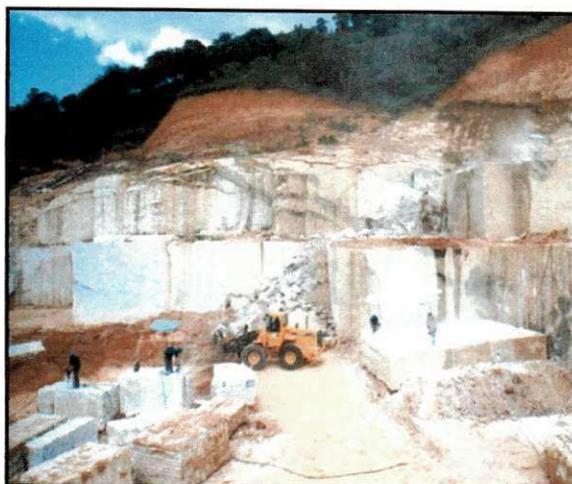
REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo relatam-se resultados sobre os estudos do resíduo da serragem de granito e os problemas causados ao meio ambiente pela sua deposição. Enfocam-se temas relacionados aos concretos asfálticos e aos seus constituintes, com uma maior abordagem para o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) e a utilização de "Filler"es, determinando-se assim suas propriedades, critérios de escolha, o possível método de dosagem, bem como o reaproveitamento do resíduo da serragem de rochas graníticas como "Filler" no Concreto Asfáltico.

2.1 - Produção de Rochas Ornamentais

Existem inúmeros tipos de rochas ornamentais no mundo, dentre os mais utilizados podem-se destacar o granito e o mármore, que são os mais utilizados no mundo. Assim, com o crescimento do emprego destas rochas, em particular do granito, vem-se se estimulando cada vez mais uma evolução tecnológica das indústrias, onde se leva ao aprimoramento dos insumos, máquinas e ferramentas em todas as fases de processamento das rochas CAUSO (1985) *apud* ARAÚJO (2002).

No Brasil as indústrias de extração de rochas ornamentais têm alcançado um crescente desenvolvimento com o aumento das exportações deste material para vários países. Em consequência, atualmente, exige-se um material de melhor qualidade padronizado por entidades nacionais ou estrangeiras como a (ABNT, ASTM e ou DIN). O processo utilizado para a exploração de rochas ornamentais, embora mecanicamente laborioso, se torna simples e barato, devido à existência de grandes maciços aflorantes e matacões de grandes dimensões (Figura 1 (a)). Os blocos de granitos são extraídos em jazidas através de martelos pneumáticos e obtidos com a utilização de explosivos, onde a limitação é obtenção de blocos com formatos que não sejam irregulares (Figura 1 (b)).



(a)



(b)

Figura 1 - Extração de blocos de granito (a) e (b)

Após a extração, os blocos de granitos sofrem uma transformação, estes são cortados e transformados em chapas ou em placas semi-acabadas, através de máquinas denominadas de teares, onde os desdobramentos dos blocos ocorrem em serrarias. Durante a fase de industrialização dos blocos os principais insumos utilizados são: componentes abrasivos, cal, água e a energia elétrica (Figura 2).

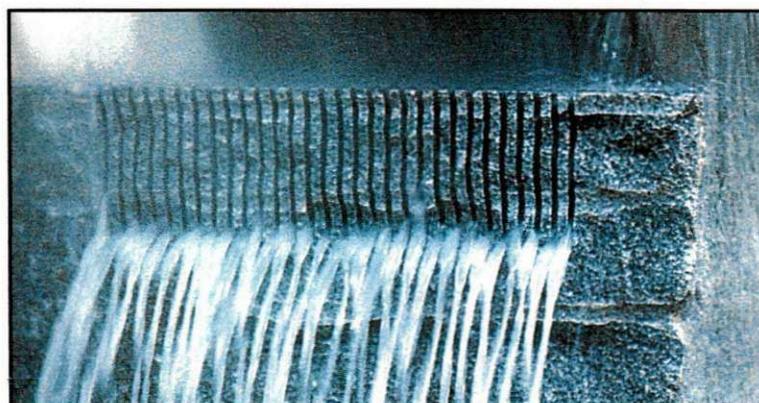


Figura 2 – Transformação dos blocos de granito em placas com a utilização de mistura abrasiva

Os teares mais utilizados para a utilização dos desdobramentos dos blocos de granito são os teares com mistura abrasiva. Neste tipo de tear o material com mistura abrasiva é o elemento essencial para o corte da rocha e ao mesmo tempo o mais completo de todo o sistema. O material abrasivo é distribuído sobre os blocos com o auxílio de chuveiros, onde se observa a filtração do material abrasivo por canais abertos pelas lâminas e retornando ao tanque de bombeamento, na fase de controle de composição da mistura, a parcela mais fina é descartada, gerando assim o resíduo da serragem de blocos de granito (Figura 3 (a)).

A fase final está relacionada com o acabamento das placas, que após a serragem são transportadas para as marmorarias, para inicialmente serem polidas, onde são aplicadas sessões de politrizes que

trabalham com abrasivos mais finos, onde são desgastadas as superfícies das placas até o polimento desejável, para em seguida realizar a ilustração das placas onde se obterá o aspecto final a ser utilizado para o uso (Figura 3(b)).

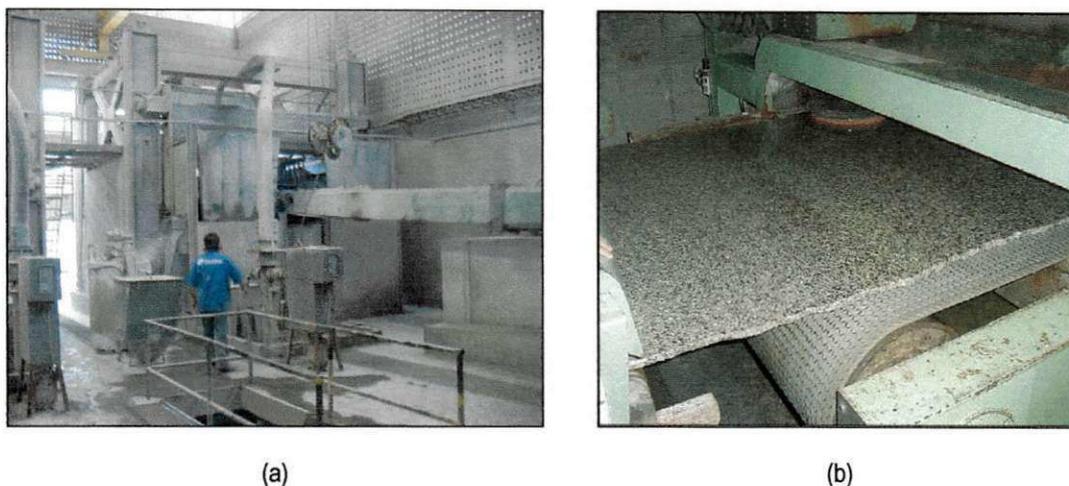


Figura 3 – Corte e acabamento das placas de granito

Assim, as indústrias de beneficiamento de rochas graníticas têm que estar cientes sobre a deposição deste rejeito ao meio ambiente, e observar quais os tipos de impactos ambientais que o meio ambiente venha a sofrer com a deposição deste rejeito de forma irregular.

2.2 - Impactos Ambientais Causados Pela Extração dos Blocos de Granito

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

Segundo a Resolução no. 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA entende-se como impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

Vale ressaltar que os impactos ambientais podem ser classificados em positivos e negativos. Os impactos ambientais são positivos quando resultam na melhoria da qualidade de um fator ou parâmetro ambiental, e negativos quando resultam em um dano à qualidade de um fator ou parâmetro ambiental (http://www.hidricos.mg.gov.br/extrsul/vol_vi/item181.htm - 20/05/2002).

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.

Deve-se observar, que a degradação ao meio ambiente é provocada em grande parte pela produção industrial das empresas, com o uso indiscriminado dos recursos naturais ou pelo processo de industrialização destas empresas, sendo estas responsáveis pelos impactos à saúde da população e sobre as condições sócio-econômicas da mesma.

As indústrias responsáveis pela exploração de rochas ornamentais como o granito, devem possuir locais para armazenar o rejeito proveniente da serragem destes blocos, pois estes são armazenados de forma incorreta em locais desapropriados e na maioria das vezes expostos ao meio-ambiente, provocando com isso a contaminação da água, do subsolo e do lençol freático ao serem lançados diretamente no solo. Deve-se ressaltar, que o controle das áreas degradadas pela exploração de rochas ornamentais é de responsabilidade do governo, da comunidade, e da própria empresa geradora do controle, da poluição, e da reabilitação das áreas degradadas.

Com isso, devido ao avanço do setor de industrialização, as empresas estão procurando investir mais recursos em máquinas que tendem a agredir menos ao meio ambiente, sendo importante as mudanças de conceitos considerados ultrapassados e a implantação de uma política que concilie um melhor aproveitamento dos recursos naturais com o desenvolvimento de novas tecnologias (Figura 4 (a) e (b), Figura 5 e Figura 6).



(a)



(b)

Figura 4 – (a) Estrutura de corte, polimento de rochas e (b) Silos de armazenagem de resíduos na Indústria POLYGRAN

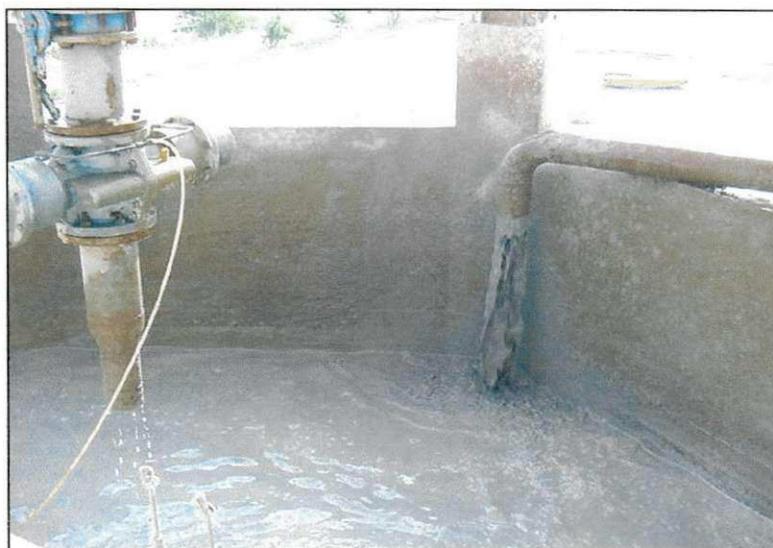


Figura 5 – Resíduo proveniente do corte de rochas na Indústria POLYGRAN

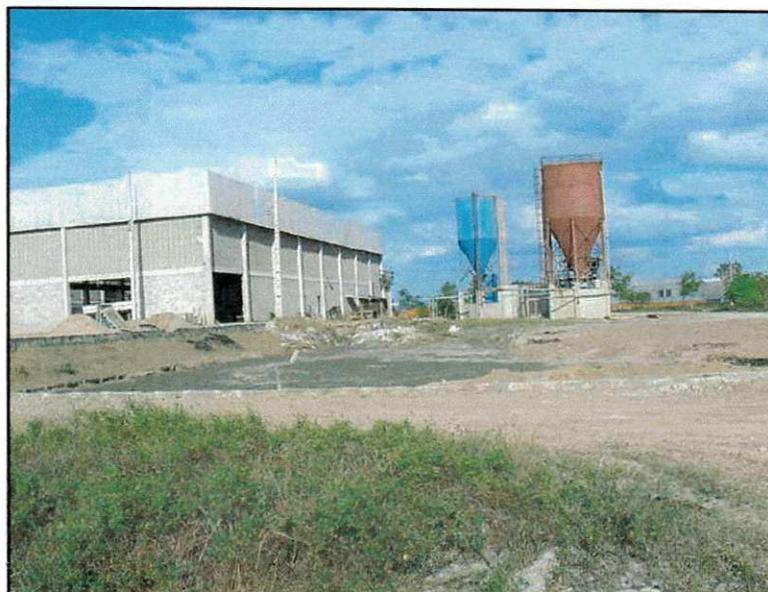


Figura 6 – Deposição final do excesso de resíduo proveniente do corte de rochas ornamentais na Indústria POLYGRAN

Nos estudos realizados por CAIADO e MENDONÇA (1995) apud ARAÚJO (2002), concluiu-se que as atividades de mineração de mármore e granitos causam alterações significativas na qualidade dos recursos hídricos, com incremento nas concentrações de todos os parâmetros analisados (sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, cálcio, bicarbonato e pH), exceto as concentrações de ferro e magnésio, que não apresentarem alterações que pudessem ser caracterizadas como resultados de impactos dessas atividades.

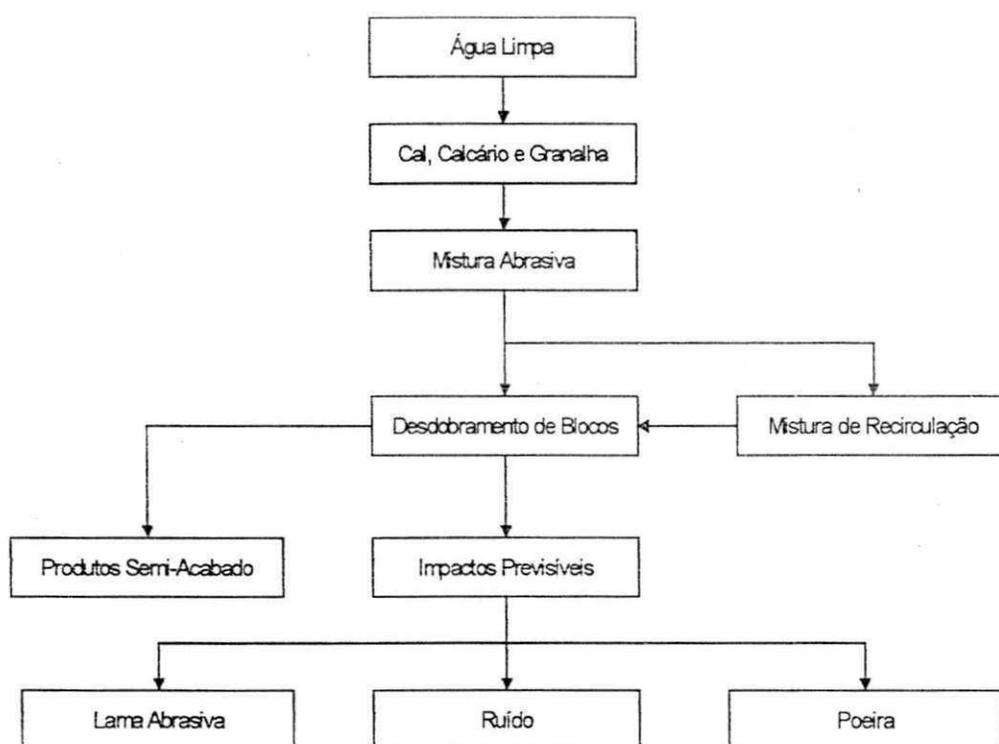
Segundo NEVES (2000), nos últimos anos, as indústrias de mineração são citadas como fontes de poluição ou degradação que contaminam ao meio ambiente, devido a enorme quantidade de rejeitos gerados e freqüentemente lançados diretamente nos ecossistemas, não realizando nenhum tipo de tratamento prévio que tenda a reduzir ou eliminar os constituintes presentes.

Segundo MIRANDA E NEVES (2000) apud NEVES (2002), o plano correto para o início de qualquer atividade de mineração é aquele que se planeja em função do uso futuro da área após a mineração, a fim de promover o equilíbrio com o meio ambiente. O termo, recuperação ambiental, usado na nova constituição, é enganoso, pois, quer significar um retorno a situação original, algo que jamais (ou dificilmente) seja alcançado. Então a questão é, sobretudo ética. O minerador deve reabilitar a área explorada porque isso é ético e não simplesmente porque a constituição exige. Segundo este mesmo autor, durante a mineração, deve-se minimizar o impacto sobre as águas, em especial, o controle de erosão e sedimentação para preservar a hidrografia. Outro aspecto dessa fase é o cuidado em separar a camada fértil do solo antes da interferência, removendo-a e armazenando-a para futura utilização na vegetação da área.

Com isso, terminado o processo de mineração da área a ser explorada, deve-se repor toda a superfície revegetada. Pois, a cobertura vegetal é que proporciona um novo equilíbrio natural ao meio ambiente.

Segundo MELO et al. (1989) apud NEVES (2002), as agressões ao meio ambiente são contornadas desenvolvendo-se um plano de lavra racional, onde os rejeitos dos blocos de granitos são aproveitados para a confecção de paralelepípedos, onde são construídos aterros e muros de contenção para se evitar o possível carregamento de fragmentos de rochas e areias para os mananciais e lagos, quando em contato com as águas.

O Fluxograma 1 abaixo apresenta um fluxo poluente da serragem de blocos de granitos de rochas ornamentais.



Fluxograma 1 – Fluxo poluente da serragem de granitos de rochas ornamentais

(Fonte: SOUZA, 2001)

Assim, com o crescimento da extração de rochas ornamentais, as empresas responsáveis por este tipo de serviço têm investido em máquinas mais modernas para a realização de corte e de desdobramentos de blocos de granito, para com isso se tentar reduzir o impacto que este tipo de operação pode causar ao meio ambiente.

2.3 - Evolução Tecnológica nas Operações de Corte e Desdobramentos de Blocos de Granito

Desde o início da década de 60, até o presente, o setor de rochas ornamentais cresceu de maneira considerável, tornando-se uma indústria de grande escala. Porém, a tecnologia aplicada não manteve uma correspondência com o nível de produção. Isso se deve, em parte, ao fato de que a indústria se caracteriza pela grande quantidade de pequenas serrarias e em parte, como resultado de antigos hábitos de se desenvolver instalações e especificações de mistura e abrasivos, de acordo com os critérios totalmente subjetivos (SILVA, 1998).

A evolução da tecnologia na etapa de extração possibilitou o aproveitamento mais diversificado dos materiais. Com isso as etapas de beneficiamento, industrialização, técnicas de instalação e manutenção incrementam o espectro de utilizações passíveis de emprego das rochas dimensionadas.

Na área de processamento, beneficiamento e acabamento, as operações de corte e desdobramento foram beneficiadas por pesquisas e inovações tecnológicas direcionadas à otimização, preparação, alimentação e monitoramento da mistura da polpa de serragem ou, mais a jusante, pela introdução no processo industrial de equipamentos com teares, talhas, politrizes, etc, e com controle numérico e computadorizado (VALE, 1997).

Assim, o avanço da tecnologia no processo de extração dos blocos de granito tem como objetivos: aproveitar mais no material de quantidade inferior; minimizar o impacto ambiental; reduzir custos; obter ganhos de produtividade; ofertar novos materiais; e o oferecer melhores condições de trabalho, sob as óticas ambientais e de segurança.

2.4 - Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

A denominação usual dada ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), é de um material aglutinante de cor escura, onde a massa molecular deste (CAP) obtida a partir da destilação do petróleo em unidades industriais. Assim, a principal função do cimento asfáltico é a de promover uma união entre as partículas de agregado graúdo e miúdo (conjunto estrutural), proporcionando com isso uma distribuição dos esforços produzidos na superfície do revestimento, sejam distribuídos nas camadas logo abaixo do seu revestimento, pois o CAP confere características de flexibilidade e impermeabilidade ao pavimento (SANTANA, 1993).

2.4.1 - Classificações dos Cimentos Asfálticos

As primeiras especificações referentes aos cimentos asfálticos foram originadas nos Estados Unidos, que tinham como objetivo inicial a determinação da quantidade de cimentos asfálticos utilizados em um revestimento.

Em virtude do crescimento da indústria de petróleo e o uso de misturas asfálticas (HOT MIX ASPHALT – HMA) na utilização de serviços nos pavimentos nos Estados Unidos, foi necessário a partir de então a necessidade de se criar uma norma com os tipos de métodos, para se determinar assim a consistência dos cimentos asfálticos.

Com o surgimento das normas, que tinham como objetivo principal determinar a consistência dos cimentos asfálticos, em 1888 H.C. Bowen criou um equipamento denominado "Bowen Penetration Machine", que após alguns anos, sofreu variações passando a ser chamada propriamente de "ensaio de penetração", e cujo principal objetivo era determinar a consistência do asfalto a uma temperatura de 25°C.

Durante vários anos depois, o ensaio de penetração sofreu várias mudanças, onde segundo ROBERTS *et al.* (1996) *apud* SOUZA (2001) o ensaio de penetração apresenta as seguintes vantagens e limitações:

Vantagens: o cimento asfáltico é classificado segundo a consistência, próximo a temperatura média de serviço de pavimento nos Estados Unidos que é de 25°C; o ensaio apresenta resultados mais satisfatórios a uma temperatura de 25°C do que de 60°C; o tempo para a realização do ensaio é considerado curto; o ensaio é adaptável às condições de campo; custo de equipamentos relativamente baixos; limite de precisão bem estabelecido; susceptibilidade a temperatura (consistência do cimento asfáltico com mudança correspondente em temperatura) do cimento asfáltico pode ser determinada medindo-se a penetração em temperaturas diferentes a 25°C.

Limitações: o ensaio é empírico e não mede a consistência do cimento asfáltico em unidade fundamental como no ensaio de viscosidade; a taxa de cisalhamento alta durante o ensaio; a taxa de cisalhamento variável dependente da consistência do cimento asfáltico; o parâmetro de classificação obtido a 25°C, pois esta temperatura não representa a temperatura de serviço que é variável.

Para ROBERTS *et al.* (1996) *apud* SOUZA (2001), depois de diversos estudos, vários pesquisadores observaram que estimar as características do cimento asfáltico a uma temperatura de 25°C, não obtiveram resultados satisfatórios, pois esta temperatura (25°C) não era considerada a temperatura média de serviço dos pavimentos, e após um entendimento de vários departamentos como FHWA, ASTM, AASHTO, determinou-se que a viscosidade a 60°C era considerada o melhor parâmetro para se classificar o cimento asfáltico.

Segundo ROBERT *et al.* (1996) *apud* SOUZA (2001), o sistema de classificação dos cimentos asfálticos a partir de ensaios de viscosidade possuem as seguintes vantagens e limitações, que são:

Vantagens: a viscosidade é uma propriedade fundamental dos cimentos asfálticos; o sistema baseia-se em viscosidade a uma temperatura de 60°C, pois este valor se aproxima da temperatura máxima da superfície dos pavimentos (temperatura esta crítica durante o desempenho ou vida útil do pavimento); o ensaio é bem padronizado e tem limites de precisão bem estabelecidos; a susceptibilidade do cimento asfáltico a temperatura pode ser estimada desde que a consistência possa ser medida em três níveis de temperatura.

Limitações: a classificação do cimento asfáltico a 60°C em determinadas épocas do ano pode não corresponder à temperatura de serviço do pavimento; o ensaio de viscosidade possui um custo mais elevado do que o ensaio de penetração.

No Brasil, os cimentos asfálticos são classificados pelo ensaio de penetração (25°C) em 4 tipos diferentes: 30/45; 50/60; 85/100; e 150/200; sendo usado o CAP 50/60 na região Nordeste devido o clima da região ser bastante elevado, e este pavimento ser submetido a um tráfego bastante elevado, e pelo ensaio de viscosidade absoluta (60°C), onde os pavimentos são subdivididos em 4 tipos: CAP -7; CAP-20; CAP- 40 e CAP- 55. Atualmente, levando-se os resultados destes ensaios, é possível estabelecer uma mesma classificação para o determinado tipo de cimento asfáltico e observar em campo desempenho diferentes (SOUZA, 2001).

2.5 - Defeitos Característicos do CBUQ

Existem inúmeros defeitos característicos no CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente), dentre os quais podem se destacar são as deformações plásticas e as deformações elásticas.

As deformações plásticas também conhecidas como deformações permanentes, são deformações que ocorrem na superfície do revestimento asfáltico, ou seja, são irregularidades que são observadas no revestimento tanto no perfil longitudinal como no perfil transversal, ela é dita "permanente" por corresponder um acúmulo de pequenas parcelas de deformação que ocorrem a cada carregamento, sendo estas deformações irrecuperáveis e geralmente ocorrem nos primeiros anos de vida do pavimento.

Um trabalho realizado por NIJBOER (1948) *apud* IBP (1992), apresenta algumas características importantes sobre o problema de deformações plásticas em termos de coesão e ângulo de atrito que são: a penetração do ligante não influencia o ângulo de atrito interno das misturas, para uma dada temperatura, ao passo que a coesão é altamente influenciada pela penetração. Quanto mais duro o asfalto, maior a coesão, para uma dada temperatura; a temperatura influencia a coesão e praticamente não tem influência nenhuma sobre o ângulo de atrito. porém, na viscosidade a temperatura tem uma grande influência, onde se foi

definida uma temperatura como sendo temperatura de solidificação viscosa, que representa o ponto a partir do qual a velocidade de deformação é tão baixa que se é possível não se considerar mais a deformação permanente abaixo desta temperatura.

São estabelecidas algumas temperaturas de solidificação viscosa (Tabela 1): Segundo esses estudos, existe uma grande influência da relação "Filler"/betume, da relação volume de vazios/volume total e do tamanho das partículas finas nas propriedades plásticas de coesão e deformação das misturas e o efeito do agregado pode ser considerado sob os aspectos da forma, tamanho e concentração de grãos mais grossos influenciando o ângulo de atrito, a coesão e a deformação plástica da mistura.

Tabela 1 - Temperaturas de solidificação viscosa (IBP, 1992)

Penetração	20/30	50/60	80/100	180/200
°C	+12	+4	0	-6

HICKS et al. (1993) descreveram as deformações permanentes (rutting) que ocorrem nas camadas de misturas asfálticas como causadas pela combinação de densificação (mudança de volume) e deformação cisalhante resultante da ação repetida do tráfego. Esta deformação tem como causa primárias as tensões cisalhantes excessivas que ocorre na parte superior da camada. As propriedades do ligante (elástica e viscosa) e do agregado que contribuem para a deformação permanente da mistura pode ser qualificadas utilizando-se o ensaio de cisalhamento indireto.

Segundo (MOMM e DOMINGUES, 1998), são três os mecanismos, que se traduzem em irregularidades da superfície, caracterizam a formação de deformação permanente na superfície dos concretos asfálticos: deformação permanente estrutural; deformação permanente de fluência; e deformação permanente de uso.

A deformação permanente estrutural para o qual o tráfego é submetido resulta do sub-dimensionamento das camadas do pavimento, ou da utilização de materiais com defeito de execução (falta de compactação), de insuficiência de drenagem, de suporte do subsolo.

Podem-se determinar vários tipos de providências para proteger o pavimento de deformações permanentes estruturais como: métodos de dimensionamentos às cargas, recomendações de empregos de materiais, drenagem, evacuação d'água.

A deformação permanente de fluência tem origem pelo problema de mistura do concreto asfáltico, característicos de diversos constituintes e da execução de mistura, doravante simplesmente designada da deformação permanente.

O critério usado para corrigir a deformação permanente é feito inicialmente através da retirada de concreto asfáltico e pela reposição de um novo ou pela reciclagem e correção dos materiais.

Portanto, para se evitar o aparecimento de deformação permanente na estrutura do pavimento, é necessário que se tenha um concreto asfáltico com um esqueleto mineral estável e eficaz na transmissão dos esforços, onde são procurados numerosos pontos de contatos entre as partículas, onde são empregados materiais de qualidade.

A deformação permanente de uso ocorre na superfície do pavimento, e é resultante dos desgastes provocados pelos pneus em especial por pneus providos de correntes para situações de pista com gelo. Este tipo de deformação ocorre principalmente em regiões de clima frio.

2.5.1 - Parâmetros que Influenciam a Deformação Permanente

Existem diversos parâmetros que influenciam na deformação permanente onde dentro destes principais parâmetros pode-se destacar: granulometria; teor de vazios; temperatura; influência do tipo e teor de cimento asfáltico.

a) Granulometria

A granulometria é a responsável pela distribuição interna dos grãos de maneira que acontece um contato mais íntimo entre as partículas de grãos maiores e as partículas de grãos menores, onde a função das partículas de grãos menores é de preencher os vazios deixados pelos grãos maiores.

Segundo BROUSSEAUD *et al.* (1993) apud MOMM e DOMINGUES, (1998) alguns pesquisadores relatam de não possuírem nenhuma conclusão geral sobre a influência da granulometria na deformação permanente, afirmando que:

uma redução de areia 0/2 de 5% pode ocasionar uma redução na profundidade da deformação permanente da ordem de 15% a 20% (mantendo o mesmo teor de vazios);

aumentando-se os granulares britados se melhora sistematicamente a deformação permanente;

a introdução de uma descontinuidade na granulometria contribui, em geral, para a instabilidade.

b) Teor de Vazios

Este parâmetro é considerado um dos fatores que mais influenciam na deformação permanente dos concretos asfálticos, onde as quantidades de vazios existentes nos concretos asfálticos devem variar entre 3% e 7%, pois o concreto asfáltico nesse intervalo é considerado estável.

Segundo BROUSSEAUD *et al.* (1993) apud MOMM e DOMINGUES, (1998) o nível ótimo de vazios intergranulares cheios com betume para o qual a resistência é obtida pela imobilização do grão sem o efeito da lubrificação pelo betume.

Segundo VERSTRAETEN, (1994) apud MOMM e DOMINGUES, (1998) a composição volumétrica dos concretos asfálticos é considerado um parâmetro importante para a estabilidade e a durabilidade do pavimento, onde de um modo geral o teor de vazios da mistura após a compactação não deve ser menor do que 4% de vazios, para que com isso o teor de vazios não se reduza a menos de 2% ou 3% pela pós-compactação, pois isso poderia ocasionar a perda de estabilidade da mistura. Por outro lado o teor de vazios não deve ser superior a 8% para garantir a durabilidade (resistência à fadiga e ao envelhecimento).

c) Temperatura

Os concretos asfálticos são herdeiros das características viscosas do cimento asfáltico, que afetam sua consistência com o aumento da temperatura. No mesmo sentido, com o aumento da temperatura ambiente aumenta-se o risco de aparecimento de deformação permanente na superfície do pavimento.

Aumentando-se a temperatura em 10°C, é possível verificar uma translação na curva de deformação permanente em 10 (na escala log-log), onde para uma mesma percentagem de deformação permanente pode-se obter para 50°C e 100.000 ciclos e 60°C e 10.000 ciclos, em intervalo de temperaturas de 42°C a 60°C (BROUSSEAUD *et al.* 1993 apud MOMM e DOMINGUES, 1998).

d) Influência do Tipo e Teor de Cimento Asfáltico de Petróleo

A utilização de um cimento asfáltico mais mole na pavimentação pode ocasionar um maior risco de aparecimento de deformação permanente, onde a caracterização da consistência de cimentos asfálticos pode ser realizada através dos ensaios de penetração, bola e pelo índice de susceptibilidade térmica.

Segundo GRIMAUX *et al.* (1977) apud MOMM e DOMINGUES, (1998) os cimentos asfálticos com uma penetração baixa apresentam um menor percentual de deformação permanente, contudo o ponto de amolecimento de anel e bola e o índice de susceptibilidade térmica permitem, conjuntamente, aferir a sensibilidade ao risco de deformação permanente.

Em casos especiais, as deformações permanentes podem ser controladas pela utilização de cimentos asfálticos modificados, que com isso tendem a reduzir o risco de sensibilidade à deformação permanente.

Embora existam riscos maiores de deformação com o aumento do teor de cimento asfáltico, parece não haver uma proporcionalidade (MOMM e DOMINGUES, (1998)). Existe um nível crítico de preenchimento dos vazios do agregado mineral por cimento asfáltico a partir do qual o material se torna mais estável.

Uma maior adição de teores de cimentos asfálticos com a intenção de melhorar a trabalhabilidade da mistura pode conduzir a um alto risco de deformação permanente.

2.5.2 - Deformações Elásticas

As deformações elásticas são deformações reversíveis e que ocorrem na superfície do pavimento devido a repetidas passagens de veículos e que também são responsáveis pelo fenômeno da fadiga do revestimento asfáltico e o correspondente trincamento deste.

Um primeiro sinal de fadiga no revestimento consiste no aparecimento de trincas interrompidas longitudinais no sentido do tráfego. A trinca por fadiga é um problema progressivo, porque, em um determinado instante, as trincas iniciais se unirão e, pela relação em cadeia, formarão mais trincas. Um estágio intermediário de trincas por fadiga é chamado de "couro de jacaré", pois estas lembram a pele inicial deste animal (Figura 7). Em alguns casos extremos, o estágio final do processo de fadiga é a deterioração do pavimento com formação de "panelas". As panelas se formam quando vários pedaços do revestimento são deslocados e removidos pela ação do tráfego (SHRP-A-379, 1994) apud SOUZA (2001) .

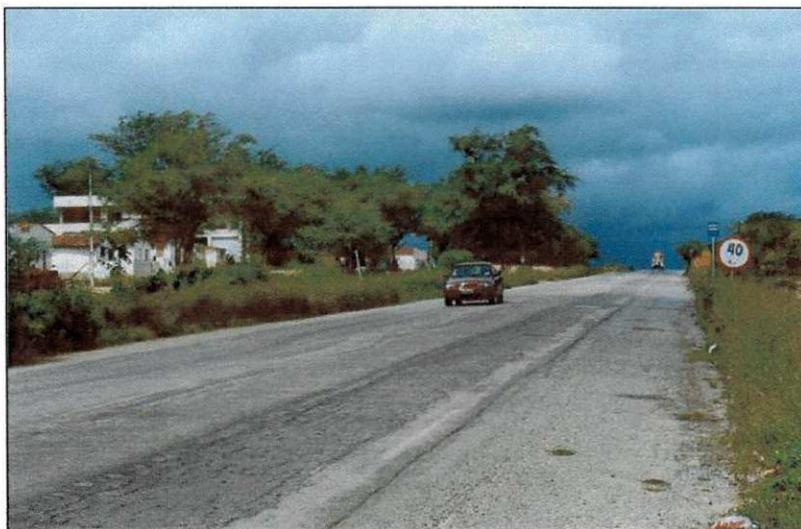


Figura 7 - Trinca por Fadiga tipo Couro de Jacaré

Pode-se observar que, em alguns casos as trincas por fadiga significam apenas que o pavimento já recebeu o número de aplicações de carga previstas no projeto. Conseqüentemente é necessária uma reabilitação (planejada). Supondo que a ocorrência com trincas por fadiga coincidam aproximadamente com a vida útil de projeto, isto não deve ser considerado uma falha, mas um processo natural de degradação do pavimento, conforme proposto. Se trincas ocorrem muito antes do fim da vida útil programada do pavimento, isto é sinal que o pavimento pode ter recebido um número de carregamentos maior antes do período esperado LEITE, (1996) apud SOUZA (2001).

Assim, para prevenir o problema de trincamento por fadiga deve-se: estimar adequadamente do número de carregamentos que vão solicitar o trecho durante a vida útil proposta; manter o subleito seco, para que o seu teor de umidade ótima, quando o pavimento é bem construído, com drenagem adequada; compatibilizar espessura e rigidez dos materiais; usar materiais susceptíveis à umidade; Usar materiais de pavimentação que possuam suficiente resiliência para suportar as deflexões normais.

2.6 - Ensaio Marshall

O ensaio Marshall é o ensaio utilizado para realizar corpos de prova, com o objetivo de se obter o teor ótimo de ligante asfáltico, medido-se cinco parâmetros que são a massa específica aparente, a estabilidade Marshall, a relação betume vazios, a fluência e o volume de vazios.

No Brasil, o ensaio Marshall tem sido adotado pela maioria dos órgãos rodoviários, talvez pelo fato de que este ensaio apresente uma relativa eficácia nos serviços de pavimentação. O método desenvolvido por Marshall é considerado empírico, ou seja, este ensaio não mede as condições do pavimento em serviço e não considera o clima da região nem as medições de tráfego.

Tenta-se estimar as características físicas da mistura compactada através de três parâmetros que são a densidade aparente, volume de vazios não preenchidos com asfalto, volume de vazios ocupado pelo asfalto através da relação betume-vazios. Para se avaliar as características mecânicas das misturas compactadas são empregados os ensaios de estabilidade e fluência.

Assim, com a dependência entre densidade aparente, volume de vazios e a relação betume-vazios têm-se basicamente três variáveis independentes: densidade aparente, estabilidade e fluência.

A tentativa de interpretar ensaios empíricos não é uma tarefa fácil, pois significa então a não simulação em laboratório do fenômeno mecânico real tal qual ele acontece no campo, contudo diversos pesquisadores vêm tentando interpretar o significado da estabilidade e da fluência, determinados pelo ensaio Marshall.

Segundo o HIGHWAY RESERARCH BOARD apud COELHO (1992) cita o ponto de vista de V.A. Endersby "... a estabilidade Marshall mede principalmente a coesão e a viscosidade do ligante betuminoso e de certa forma constitui-se também numa medida de estabilidade mecânica dos agregados".

O CORPS OF ENGINEERS apud COELHO (1992) interpreta a fluência obtida no ensaio Marshall, como sendo uma medida de flexibilidade do concreto betuminoso que está sendo examinado, por isso um valor baixo para a fluência é indicador de uma mistura seca e quebradiça, enquanto um valor alto reflete um material macio e plástico, sendo com isso um pavimento mais flexível.

Um aspecto importante a ser analisado na obtenção da estabilidade e da fluência Marshall, é que a operação de compressão diametral se comporta com a ruptura do corpo-de-prova, em menos de 10 segundos como relata o CORPS OF ENGINEERS apud COELHO (1992). Essa característica obtida pelo ensaio Marshall induz à conclusão de que os valores dos parâmetros medidos, pelo ensaio refletem principalmente as propriedades elásticas do material ensaiado.

Por sugestão do CORPS OF ENGINEERS apud COELHO (1992) a medida de fluência do ensaio Marshall foi limitada em 20 centésimos de polegada para que o valor máximo dessa grandeza possa reconhecer que apenas a estabilidade Marshall não é capaz de medir a resistência às deformações das misturas betuminosas.

Pode-se observar por sua vez, que a estabilidade Marshall com valores acima de 500 kgf e a fluência com valores inferiores a 20 centésimos de polegada, correspondem à mistura capazes de suportar tráfego médio, e para misturas com valores de fluência abaixo de 20 centésimos de polegada, mesmo apresentando estabilidade alta, podem ficar sujeitas a deformações por fluência, tanto por trilhas-de-roda, como da camada como um todo.

Segundo KANDHAL e KOEHLER apud COELHO (1992), os limites da estabilidade e fluência para o ensaio Marshall, podem variar de região para região, pois uma média obtida para 38 estados americanos os valores de estabilidade Marshall foi de 1150 libras no mínimo e o de fluência foi de 16 a 18 centésimos de polegada.

Os parâmetros DA (densidade aparente), VV (volume de vazios) e RBV (relação betume vazios) obtidos através do Ensaio Marshall, servem para controlar duas características fundamentais dos corpos-de-prova de concreto betuminoso: (1) o controle do processo de compactação e (2) a quantidade de vazios com e sem ligante betuminoso.

Pode-se observar, que a DA (obtida em laboratório) é considerado um parâmetro controlador do processo de compactação da mistura na pista, ao comparar com os valores de DA (pista). Além disso, através dos valores da DA, pode-se relacionar as energias de compactação utilizadas em laboratório, com o processo de execução das camadas betuminosas nas pistas:

Os valores de VV (%) e RBV (%) devem estar situados entre o valor máximo e um valor mínimo nos concretos betuminosos utilizados na pavimentação;

O valor mínimo de VV (%) deve permitir um pequeno aumento de densificação da camada pela ação do tráfego e que por sua vez permita uma pequena expansão térmica dos agregados;

O valor máximo de VV (%) deve ser fixado, para garantir uma densidade suficiente, em conjunto com a estabilidade e a resistência mecânica à tração.

Assim, através do controle de VV (%) e RBV (%) pode-se controlar a deformação oriunda da caracterização do tráfego e de um monitoramento individual da durabilidade dos concretos betuminosos.

Os limites máximos de VV (%) e RBV (%) dependem da pressão a qual os pneus dos veículos exerçam sobre o pavimento e do tipo de mistura.

Para o Brasil o DER/SP e o DNER estabelecem valores limites para VV (%) e RBV (%), onde estes valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores limites para VV (%) e RBV (%),

Tipo de Mistura	Limites DER/SP para	VV (%)	Limites para DER/SP	RBV (%)
Para camada de rolamento	3 - 5	3 - 5	75 - 85	75 - 82
Para camada intermediária	4 - 10	4 - 6	60 - 72	65 - 72

2.6.1 - Fatores que Influenciam os Resultados do Ensaio Marshall

Apesar dos equipamentos para a realização do ensaio Marshall serem padronizados, e de existir normas que apresentem a maneira correta de como se executar este ensaio a qual é a NBR 12891 da ABNT. Os resultados deste ensaio são influenciados por diversos fatores os quais podemos destacar como, o emprego dos materiais usados para a realização do ensaio, a temperatura de mistura e compactação dos corpos-de-prova, a forma como é realizadas a compactação dos corpos-de-prova, as dimensões dos corpos-de-prova, e as características dos equipamentos e as condições operacionais do ensaio Marshall são os principais fatores que influem nos resultados do método Marshall.

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 de tolerância e que sejam empregados pelo método Marshall que são:

± 5% para a fluência Marshall (F);

± 10% para a estabilidade Marshall (F);

± 0,4% para a densidade aparente (DA);

2.7 - "Filler"

O "Filler" é um material de diâmetros máximos inferiores a 0,074mm usado como encorpante de misturas betuminosas. Segundo MACÊDO (1989), este material tem grande importância no concreto asfáltico, ou melhor, em qualquer mistura asfáltica densa, onde estas misturas são formadas por um esqueleto pétreo por agregados graúdos e agregados miúdos, devidamente adensados em que os vazios deixados estão em parte preenchidos pelo conjunto coesivo formado pelo betume, no qual encontra-se disperso o "Filler" ou material de enchimento.

Segundo PINILLA (1965) *apud* MACÊDO (1989) as funções básicas do "Filler" nas misturas betuminosas são as seguintes:

a) o "Filler" enche os vazios deixados pelos agregados, graúdo e miúdo, o que contribui para fechar a mistura, dando maior equilíbrio à estrutura e conseqüentemente, aumentando a estabilidade, sem que haja a necessidade de aumentar o teor de betume;

b) a adição do "Filler" aumenta a durabilidade das misturas ao fechá-las e fazê-las mais impermeáveis ao tempo em que lhes aumenta a resistência à água;

c) ao incorporar-se o "Filler" ao betume torna-o mais consistente e incrementa-se a resistência à deformação do meio coesivo formado nas misturas betuminosas. Isto é de particular importância quando as misturas têm escassa estabilidade por apresentarem resistência friccional deficiente, como ocorre quando se empregam agregados naturais de grãos arredondados. Mas o uso excessivo de "Filler" pode tornar o asfalto muito duro levando-o a misturas rígidas, frágeis e quebradiças.

Quando se mistura o agregado graúdo e miúdo com o betume e com o "Filler", o ligante asfáltico cobre as partículas de agregados, sendo de grande importância que o "Filler" e o ligante estejam em quantidades adequadas para que a mistura que posteriormente será compactada tenha acomodação tal dos agregados que as partículas do sistema "Filler"-betume fluam nos vazios da estrutura. Tal fluência só será possível se o volume de betume for inferior aqueles vazios deixados pelo esqueleto mineral PINILLA (1965) *apud* MACÊDO (1989).

Outra característica importante do "Filler" além de preencher os vazios existentes nas misturas betuminosas, é que este material tem a propriedade de aumentar a viscosidade do asfalto e com isso diminuir a penetração, dize-se então que o "Filler" ativa o asfalto, espessando-o, encorpando-o. Simultaneamente com o aumento da viscosidade tem-se um aumento no ponto de amolecimento e uma diminuição na suscetibilidade térmica do asfalto. Há também um aumento na resistência aos esforços de cisalhamento (estabilidade), no módulo de rigidez ("stiffness") e na resistência a tração da mistura asfáltica. Por sua vez, caso a quantidade de "Filler" ou seja maior do que a quantidade de betume deve-se observar

que o ligante asfáltico o qual será usado na pavimentação será um ligante asfáltico quebradiço o qual comprometerá a vida de fadiga do revestimento correspondente a ser usado na pavimentação asfáltica (SANTANA, 1995).

A utilização de "Filler"es nas misturas betuminosas é importante pois tendem a diminuir a desuniformidade na consistência e na suscetibilidade térmica que podem ser originadas na fabricação e na produção de misturas betuminosas.

Segundo RUIZ apud SANTANA (1995), as partículas de "Filler" que são encontradas em suspensão nas misturas betuminosas, não são sedimentadas devido a uma grande viscosidade no meio dispersante. Ao se aumentar a concentração as partículas tendem a se aproximar e com isso ocorre uma diminuição no número de vazios, onde é formado uma estrutura que torna o mástique mais rígido, frágil e quebradiço, onde essa situação corresponde a uma situação crítica. Para SANTANA (1995), RUIZ não considerou a absorção que ocorre no asfalto ao "Filler" a qual é ampliada pela grande área específica das partículas.

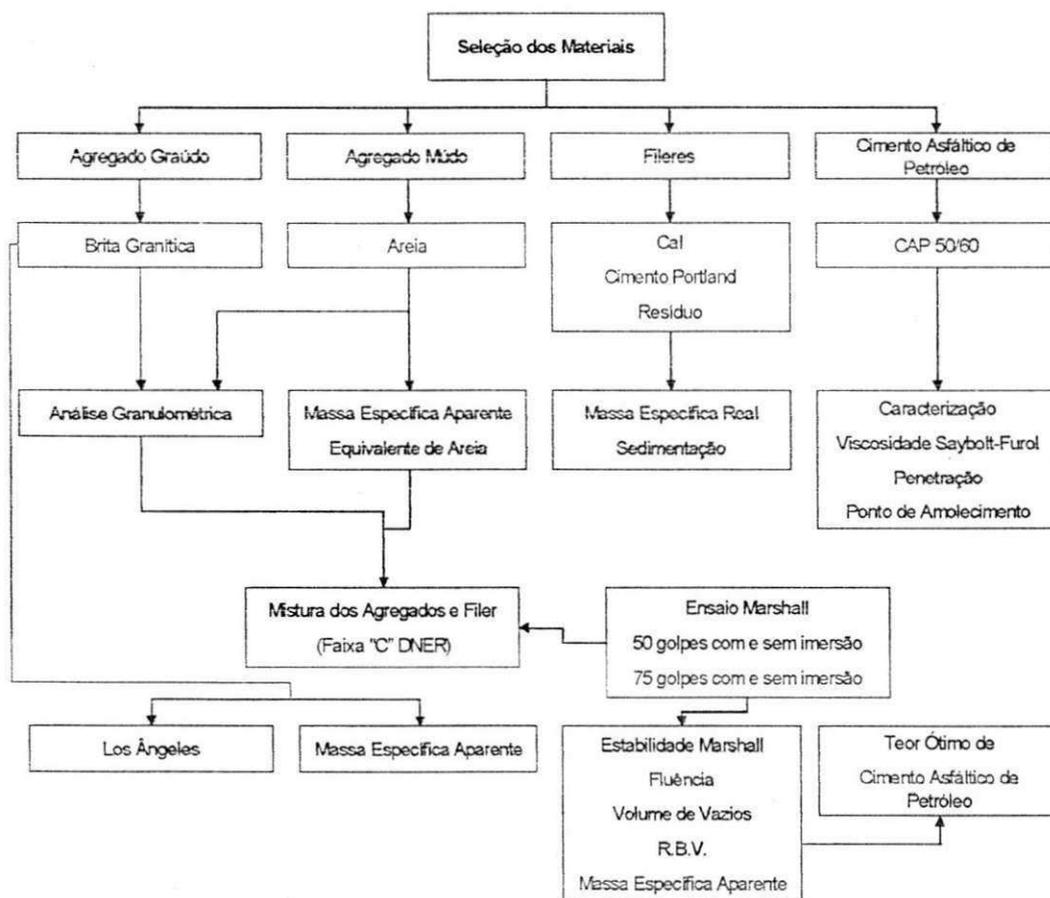
Segundo estudos de PUZINAUSKAS apud SANTANA (1995), este deu ênfase à espessura do filme de asfalto que envolve as partículas de agregado de uma massa asfáltica afirmando que, segundo os Tecnologistas de Asfalto, essas espessuras variam de 10μ a 100μ . Considerando uma estrutura dual, ou seja, uma estrutura de duas faces para o "Filler" PUZINAUSKAS considera a existência de dois tipos de "Filler"es que são : o "Filler" agregado (aquele o qual forma um esqueleto mineral, e as partículas acabam se tocando) e o "Filler" aditivo (aquele o qual as partículas ficam em suspensão no asfalto, formando o próprio Mástique).

Segundo DURIEZ apud SANTANA (1995), todo o asfalto destinado ao "Filler" seja para envolvê-lo, ou seja, achamos que é lícito concluir a título de especulação, que as partículas de "Filler" agregado está compreendida entre 80μ e $3,5\mu$ e que as partículas abaixo de $3,5\mu$ constitui o "Filler" ativo, que vão ficar em suspensão nas partículas de asfalto sem consumir asfalto.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e métodos de ensaios utilizados na pesquisa. O Fluxograma 2 apresenta, de forma sintetizada, a seqüência de atividades e de ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa.



Fluxograma 2 - Seqüência de atividades e de ensaios realizados durante a fase experimental da pesquisa

Em síntese, o experimento foi realizado em duas etapas: – Etapa 01 - Caracterização dos Materiais e a Etapa 02 - Ensaios em Misturas.

3.1 - Caracterização dos Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa constituíram de agregados graúdo e miúdo, "Filler"es (cal, cimento Portland e resíduo), e o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

3.1.1 - Agregado 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 do tipo quartzosa.

3.1.3 - Resíduo da Serragem de Granitos "Filler"

O resíduo da serragem de granitos utilizados foi proveniente da Empresa POLIGRAN, Polimento de Granitos do Brasil S/A, situada na Alça Sudoeste Km 14, quadra N°18, Distrito Industrial do Ligeiro, Campina Grande – Estado da Paraíba. Vulgarmente denominado de "lama abrasiva" o resíduo tem origem no processo de corte de granitos em teares e geralmente é constituído de água, cal moída, granalha e pó de granito, apresentado na forma de polpa de serragem e que após a secagem a 110°C é de fácil desagregação e de cor cinza clara (Figura 8). Os granitos da POLIGRAN são originários do Município de Sumé, Picuí, Serra Branca e Pocinho no estado da Paraíba onde são conhecidos comercialmente como granitos Sucuru, Picuí e São Marcos. Apresentam-se sob a forma de grandes maciços rochosos e matacões. A estrutura dessas rochas apresenta-se com granulação grosseira e média com coloração cinza escura, branco e bege.

O resíduo da serragem do granito foi caracterizado através dos ensaios de Análise Química (AQ), Análise Térmica (AT), Difração de Raios – x, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET), (NEVES,2002).

A análise química fornece dados fundamentais de grande utilidade industrial e científica, apesar de não permitir uma avaliação completa da composição mineralógica e das propriedades físico-químicas dos materiais (NEVES, 2002). O ensaio de análise química é realizado com a amostra de resíduo da serragem de blocos de granito previamente seca em estufa a uma temperatura de 110°C, e peneiramento ABNT n°200 (0,074mm) e em seguida depositada em um vidro emertricamente fechado.

As análises termodiferencial (ATD) e termogravimétrica (ATG) são utilizadas para se determinar às faixas de temperaturas onde ocorrem transformações endo e exotérmicas e as temperaturas onde ocorrem perdas de massas.

Os ensaios de difração de raios x são ensaios usados para se determinar a composição mineralógica do constituinte químico com o qual se deseja trabalhar, no qual o resíduo da serragem do granito.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a microscopia eletrônica de transmissão (MET), são ensaios que são realizados para se determinar com um auxílio de um microscópio eletrônico a existência de argilominerais na constituição mineralógica do material com o qual se deseja trabalhar, nosso presente estudo trata-se do resíduo da serragem do granito, onde o aparelho usado para a realização deste ensaio é do tipo Leica S440 equipado com EDS ISIS L 300 e detector de Si/Li OXFORD (NEVES,2002).



Figura 8 – Resíduo proveniente da serragem de granitos Polygram

3.1.4 - Cal “Filler”

A cal é um material formado exclusivamente pelo óxido de cálcio (CaO).

Segundo BUZATTI (2000) “existem citações de uso da cal desde de 1910”. Segundo o autor a cal hidratada é 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.

3.1.5 - Cimento Portland "Filler"

O cimento utilizado nesta pesquisa é do tipo portland com uma massa específica de $3,080 \text{ g/cm}^3$, sendo este material basicamente formado por uma mistura de calcáreo e argila, sem considerar os constituintes secundários, como: óxido de magnésio, fosfatos, álcalis, etc.

A mistura proporcionada dos constituintes principais, além de outros - areia, cinza de pirita, etc. - é sintetizada em alto-forno a temperatura próxima de 1500°C . obtêm-se, então, novas composições químicas, cuja mistura é denominada clínquer. Após sofrer resfriamento, o clínquer é moído juntamente com gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) numa porcentagem de 1 a 5% para, assim, formar o cimento Portland.

As propriedades inerentes dos principais componentes do cimento Portland, quando hidratado, são as seguintes:

C_3S – alta resistência inicial e forte desprendimento de calor de hidratação;

C_2S – lento e constante desenvolvimento de resistência e baixo desenvolvimento de calor;

C_3A – pega rápida e forte desenvolvimento de calor e hidratação. Principal responsável pela retração, que pode ser minimizada com a adição de gesso. Pouco interfere no desenvolvimento das resistências mecânicas. Apresenta baixa resistência ao ataque de sulfato.

C_4 (AF) – lento desenvolvimento de resistência. Baixa resistência mecânica e ao ataque de sulfatos.

3.1.6 - Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

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. A Tabela 3 apresenta os métodos de ensaios usados na pesquisa para as caracterização do CAP.

A Tabela 3 apresenta as especificações dos métodos de ensaios usados para caracterizar o CAP. A Figura 9 apresenta a descrição sucinta dos ensaios utilizados para caracterização do CAP.

Tabela 3 - Normas utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização do CAP utilizado na pesquisa

ENSAIOS	METODOLOGIA
Viscosidade Saybolt Furol	ABNT – MB 517
Penetração	ABNT NBR – 6576
Ponto de Fulgor	DNER-ME 148/94
Ponto de Amolecimento	ABNT NBR – 6560
Densidade	DNER-ME 085/94

Os agregados graúdo e miúdo usados para a realização dos ensaios, com exceção para o ensaio de absorção, foram colocados em estufa calibrada à 110°C, por um período de 24 horas. Onde posteriormente foi feita uma homogeneização do material através de quarteamento.

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

O material de enchimento ("Filler" - resíduo), foi totalmente destorroado com o uso do almofariz, depois este material foi passado totalmente na peneira N°200 (0,074mm) para posterior pesagem e colocado juntamente em sacos plásticos.

Os agregados graúdo e miúdo usados para a realização dos ensaios, com exceção para o ensaio de absorção, foram colocados em estufa calibrada à 110°C, por um período de 24 horas. Onde posteriormente foi feita uma homogeneização do material através de quarteamento.

A Figura 9 as Tabela 4 e 5 apresentam as especificações da característica e dos métodos de ensaios usados para as misturas dos materiais e para moldagem dos corpos de prova de concreto asfáltico.

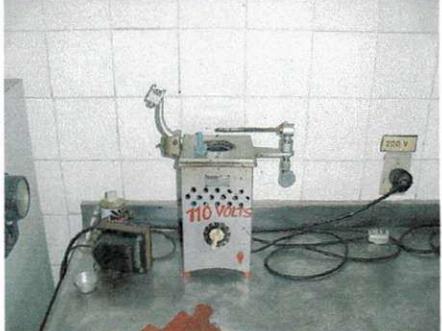
Descrição	Fotos
<p>Determinar a consistência dos ligantes asfálticos através da "penetração", a partir de uma agulha padrão que penetra verticalmente em uma amostra de material betuminoso, a uma temperatura de 25°C, com um carregamento de 100 gramas em um intervalo de tempo de 5 segundos.</p>	
<p>Indicar a temperatura a qual o asfalto deve ser tratado como um produto inflamável, nesta temperatura ocorre a liberação de gases, que na mistura com o ar e na presença de uma chama pode provocar uma combustão.</p>	
<p>Extrair a quantidade de CAP do concreto asfáltico de petróleo</p>	
<p>Romper corpos de prova "Marshall" para obtenção das variáveis: Estabilidade e Fluência</p>	
<p>Determinar a "Viscosidade" Saybolt Furol dos ligantes asfálticos, "tempo necessário para que ocorra um escoamento de 60 ml de material, no viscosímetro Saybolt Furol".</p>	

Figura 9 – Alguns dos ensaios utilizados durante a pesquisas

Tabela 4 - Norma utilizada para enquadrar os materiais na Faixa do DNER

ENSAIOS	METODOLOGIA
Faixa "C" do DNER Ensaio Marshall	DNER ME 43 - 95

Tabela 5 - Normas utilizadas para caracterização dos agregados e "Filler"es utilizados na pesquisa

ENSAIOS	METODOLOGIA
Análise Granulométrica	
Agregados	
Graúdos	DNER ME 083 - 94
Miúdos	
"Filler"	
Densidade Real dos Agregados	
Graúdos	DNER ME 084 - 94
Miúdos	DNER ME 084 - 94
"Filler"	DNER ME 085 - 94
Sedimentação "Filler"	DNER ME 083 - 94
Massa Específica Real "Filler"	DNER ME 085 - 94
Equivalente de Areia	DNER-ME 054/94

3.2 - Ensaio em Misturas

Nesta etapa inicia-se uma bateria de ensaios que forneceram subsídios para análise do comportamento do material alvo da pesquisa. Para tanto, os agregados foram misturados e estabilizados granulométricamente para apresentar uma distribuição de tamanhos dos grãos que se enquadrassem dentro dos limites pré-estabelecidos na faixa de domínio da faixa "C".

Durante esta fase foram realizados ensaios com as seguintes misturas: c) Estabilização granulométrica com os agregados graúdos, miúdos e "Filler"es. Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), (e Cimento Asfáltico de Petróleo e "Filler"es) (CAP+"Filler").

Com estas misturas foram realizados os seguintes ensaios:

Ensaio de Sedimentação – cal, cimento Portland e resíduo;

Ensaio de Análise Granulométrica – agregado graúdo e agregado miúdo;

Ensaio Marshall – agregado graúdo, agregado miúdo, resíduo e CAP;

Ensaio de Penetração – cal, cimento Portland, resíduo e CAP;

Ensaio de Viscosidade Saybolt Furol – cal, cimento Portland, resíduo e CAP.

3.2.1. - Ensaio Marshall

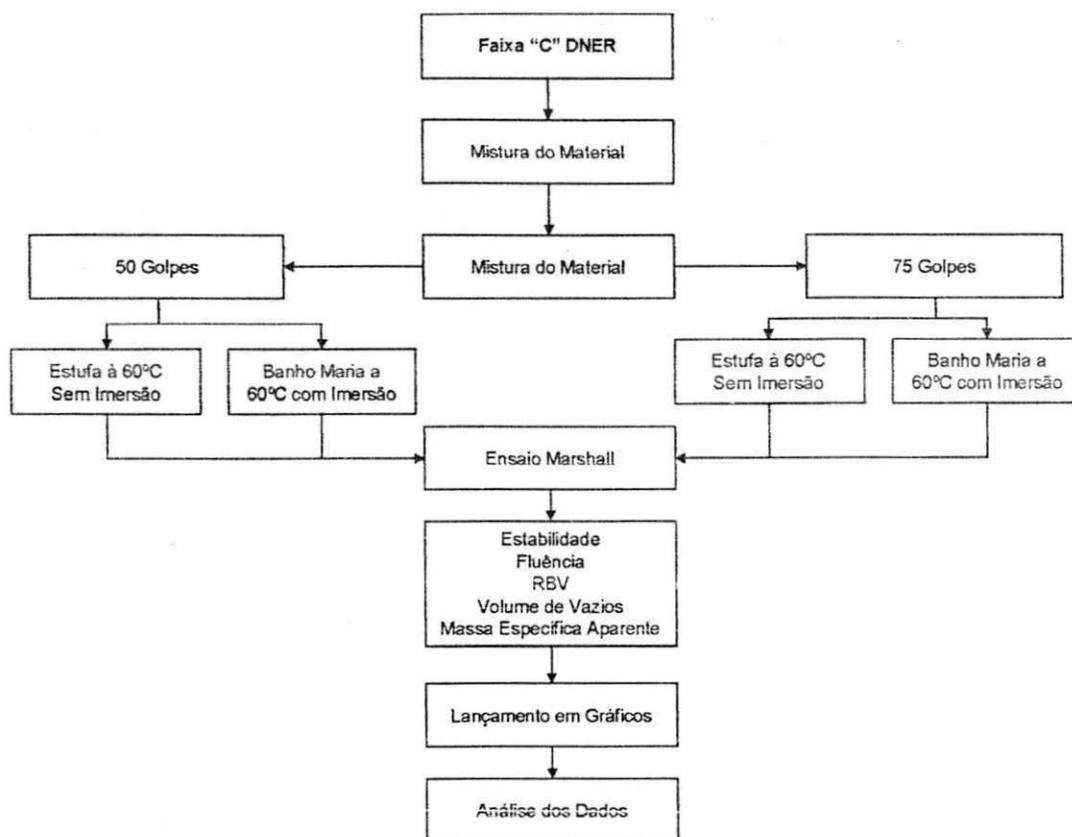
Para realização dos ensaios Marshall foram confeccionados 100 corpos de provas para atender as seguintes etapas do experimento: Primeira Etapa – Teor de "Filler" resíduo 6%, 75 golpes, sem imersão dos corpos de prova; Segunda Etapa – Teor de "Filler" resíduo 6%, 75 golpes, com imersão dos corpos de prova; Terceira Etapa – Teor de "Filler" resíduo 6%, 50 golpes, sem imersão dos corpos de prova; Quarta Etapa – Teor de "Filler" resíduo 6%, 50 golpes, com imersão dos corpos de prova. O Fluxograma 3 a seqüência adotada para a realização dos ensaios Marshall.

3.2.2 - Variabilidade do Teor de "Filler"es e seus Efeitos

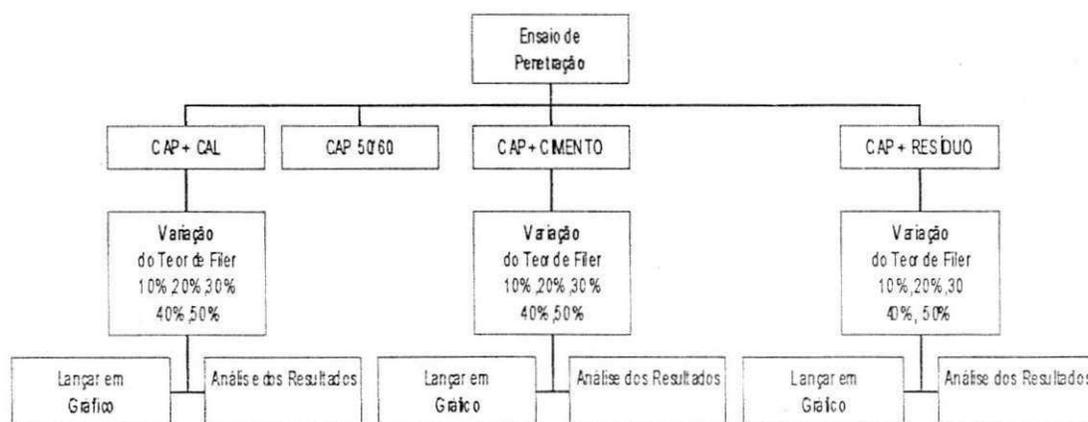
Na tentativa de entender o comportamento da mistura asfáltica e a interação do teor de "Filler"es com o CAP, foram realizadas ensaios de Viscosidade Saybolt Furol e Penetração com variação do teor de "Filler"es em relação ao volume da amostra ensaiada (CAP+ Cal, CAP + Cimento Portland e CAP + Resíduo).

a) Ensaio de Penetração

Os ensaios de Penetração foram realizados segundo as etapas: Primeira Etapa - Penetração do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP); Segunda Etapa – Penetração da mistura de CAP + Cal, variando o teor de CAP em 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de acordo com o volume das cápsulas; Terceira Etapa – Penetração da mistura de CAP + Cimento, variando o teor de CAP em 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de acordo com o volume das cápsulas; Quarta Etapa – Penetração da mistura de CAP + Resíduo, variando o teor de CAP em 10%, 20%, 30%, 40% e 50% de acordo com o volume das cápsulas. O Fluxograma 4 apresenta a seqüência adotada para a realização dos ensaios de Penetração.



Fluxograma 3 - Seqüência adotada para a realização dos ensaios Marshall

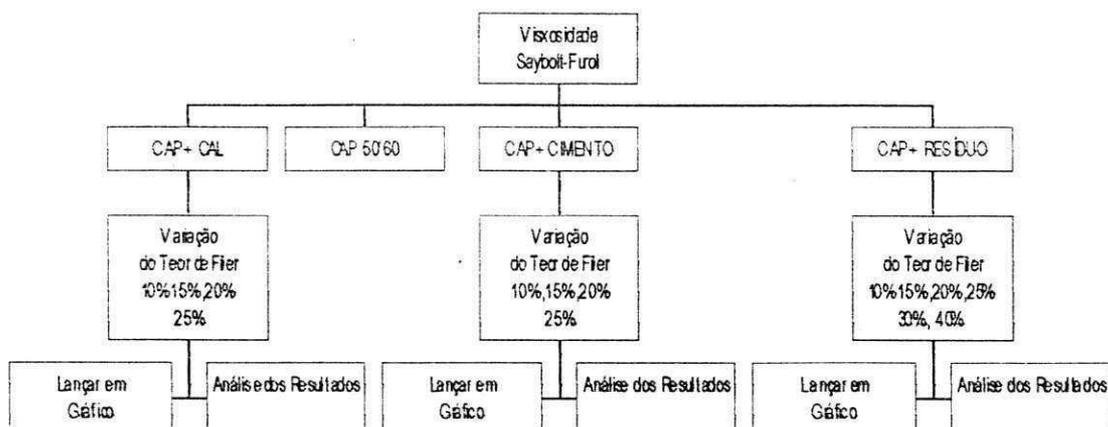


Fluxograma 4 - Seqüência adotada para a realização dos ensaios de Penetração

b) Ensaio de Viscosidade Saybolt Furol

Os ensaios de Viscosidade foram realizados a partir das seguintes etapas: Primeira Etapa – Realização da viscosidade do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), tirando-se a média dos 2 bulbos do viscosímetro em segundos; Segunda Etapa – Realização da viscosidade da mistura de CAP + Cal, variando o teor de CAP em 10%, 15%, 20% e 25% e tirando-se a média dos 2 bulbos do viscosímetro em segundos;

Terceira Etapa – Realização da viscosidade da mistura de CAP + Cimento, variando o teor de CAP em 10%, 15%, 20%, e 25% e tirando-se a média dos 2 bulbos do viscosímetro em segundos; Quarta Etapa – Realização da viscosidade da mistura de CAP + Resíduo, variando o teor de CAP em 10%,15%, 20%, 25%, 30% e 40% e tirando a média dos 2 bulbos do viscosímetro em segundos. O Fluxograma 5 apresenta a seqüência adotada para a realização dos ensaios de Viscosidade Saybolt-Furol.



Fluxograma 5 - Seqüência adotada para a realização dos ensaios de Viscosidade Saybol-Furol

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados, descritos e analisados os resultados obtidos referentes à Etapa 01- Caracterização dos Materiais e a Etapa 02 – Ensaio em Misturas.

4.1 - Caracterização dos materiais

4.1.1 - Agregado Graúdo

O agregado graúdo utilizado foi do tipo granítico (DNER – ME 081/94), comumente utilizado na região, apresentando um diâmetro máximo de 19,1 mm, massa específica aparente de 2,705 g/cm³, desgaste do agregado por abrasão Los Angeles de 20,96 %.

4.1.2 - Agregados Miúdos

O agregado miúdo utilizado foi a areia do tipo quartzosa (DNER – ME 084/94), apresentando um diâmetro máximo de 4,75 mm, massa específica aparente de 2,610 g/cm³, e equivalente de areia igual a 95%.

4.1.3 - “Filler”es

a) Cal hidratada e o Cimento Portland

A cal hidratada e o Cimento Portland apresentaram massa específica aparente de 2,45 g/cm³ e de 3,080 g/cm³ respectivamente, (DNER – ME 085/94). A Figura 10 apresenta a distribuição dos tamanhos de grãos, obtidos a partir do ensaio de sedimentação, dos “Filler”es estudados.

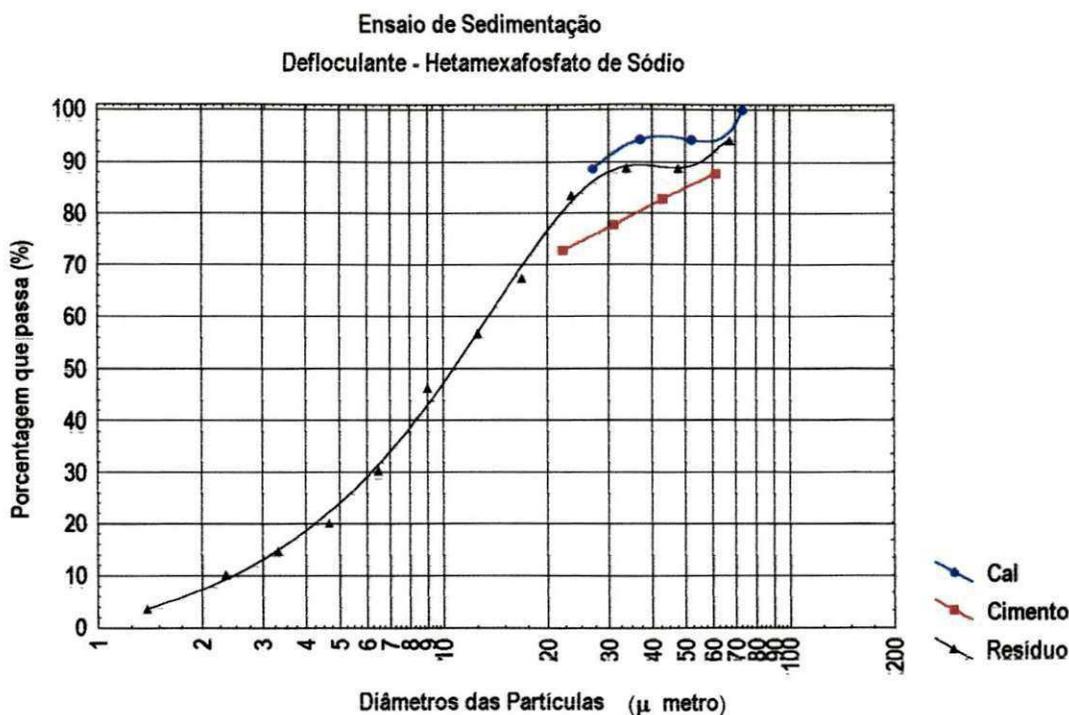


Figura 10 - Distribuição dos Tamanhos de Grãos - Ensaio de Sedimentação

b) Resíduo

A obtenção das características físicas e químicas do resíduo nesta pesquisa foi feita, de forma detalhada, por NEVES (2002). A seguir será descrita, em síntese, a caracterização do resíduo de granito do autor.

b.1) Massa Específica Real

A Tabela 6 apresenta o resultado da massa específica real do resíduo estudado na pesquisa.

Tabela 6 - Massa específica real dos resíduos estudados

Resíduos	Massa Específica Real (g/cm ³)	Desvio Padrão (g/cm ³)
Serragem de Granito	2,69	± 0,0005

b.2) Distribuição de Tamanho de Partículas

A Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam os valores da distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo, obtida por LIMA e NEVES, a partir do ensaio de sedimentação com defloculante de Hexametáfosfato de sódio e de absorção de luz óptica. O resíduo apresentou, respectivamente, 94,00% e 99,5% de partículas com diâmetro equivalente abaixo de 70 µm.

Tabela 7 - Distribuição dos Tamanhos de Grãos - Ensaio de Sedimentação (LIMA, 2003)

Diâmetro Médio das Partículas(μm)	67	48	34	23	17	13	9	6	5
Massa que passa (%)	94	88	84	83	68	57	46	30	20
Diâmetro Médio das Partículas(μm)	67	47	34	23	17	12	9	6	5
Massa que passa (%)	93	88	83	77	72	61	50	35	24

Tabela 8 - Distribuição dos Tamanhos de Grãos - Ensaio de Sedimentação (NEVES, 2002)

Diâmetro Médio das Partículas(μm)	70	60	50	40	30	20	10	5	2
Massa que passa (%)	99	97	96	90	86	77	57	34	15
Diâmetro Médio das Partículas(μm)	-	60	50	40	30	20	10	5	2
Massa que passa (%)	-	97	96	89	86	77	55	35	15

A partir dos resultados apresentados, na Figura 11, verifica-se que o resíduo estudado apresenta uma porcentagem inferior a 55 % do peso de massa acumulada para um diâmetro médio equivalente abaixo de 10 μm . Constata-se portanto, que o resíduo estudado neste experimento é o mesmo caracterizado por NEVES (2002).

A Tabela 9 apresenta resultados das áreas específicas dos resíduos estudados pelo método de sedimentação e através de absorção de luz óptica.

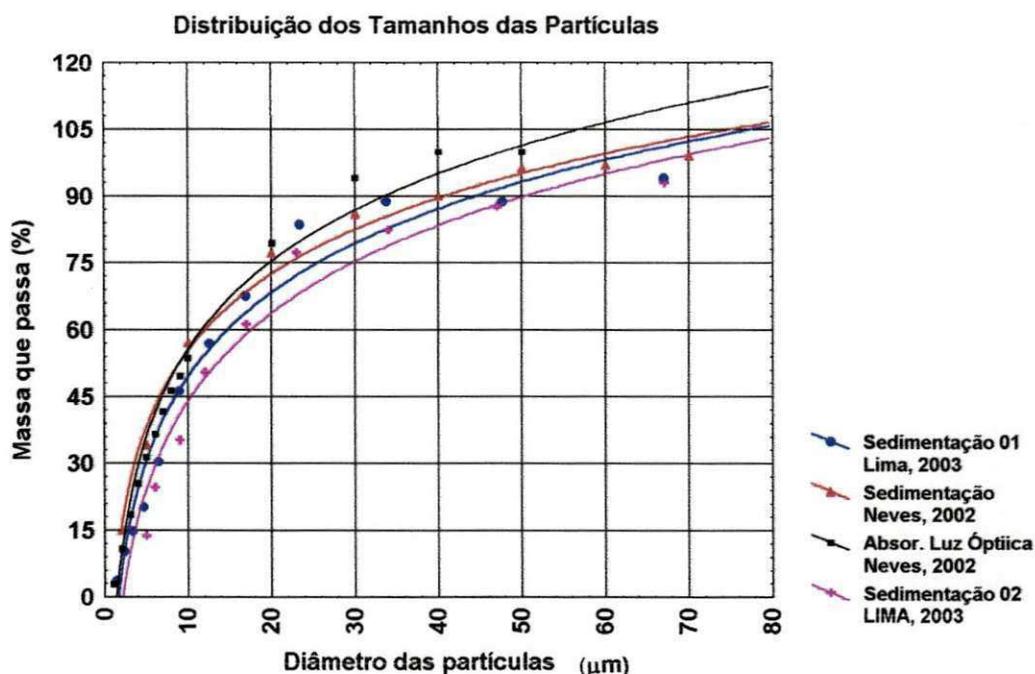


Figura 11 - Curva de distribuição do tamanho das partículas obtida pelo método de sedimentação e através de absorção de luz óptica – (Lima, 2003 e NEVES, 2002)

Tabela 9 - Área específica (AE) do resíduo estudado

Área específica do resíduo estudado.		
	A.E (sedimentação)	A.E (BET)
Resíduo	m ² /g 0,46	m ² /g 11,41

b.3) Análise Química (AQ)

A Tabela 10 apresenta a composição química do resíduo em seu estado natural. Observando os valores, contidos na Tabela 11, NEVES (2002) infere que o resíduo classifica-se como sendo um silicato-aluminoso com um elevado teor de sílica, $\geq 55\%$ e teor de Al_2O_3 e Fe_2O_3 em torno de 12 e 6% respectivamente. Na Tabela 10 o autor observou que resíduo estudado apresentou, após o tratamento de desferrização, uma redução nos teores de Fe_2O_3 .

Tabela 10 - Composição química do resíduo no estado natural

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

Tabela 11 - Composição química do resíduo após o tratamento de desferrização

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

b.4) Análise Térmica (ATD e ATG)

A Figura 12 e a Figura 13 apresentam as curvas de análises termodiferencial e termogravimétrica do resíduo. Para NEVES (2002) há um pico endotérmico de pequena intensidade à 110°C que indica perda de água livre; pico endotérmico de pequena intensidade à 556°C, correspondente a transformação de quartzo alfa em quartzo beta; pico endotérmico correspondente a perda de hidroxilas da mica a 740°C; pico endotérmico de pequena intensidade correspondente a recristalização da mica à 780°C e pico endotérmico correspondente a pequena intensidade correspondente a decomposição de carbonato de sódio à 820°C.

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

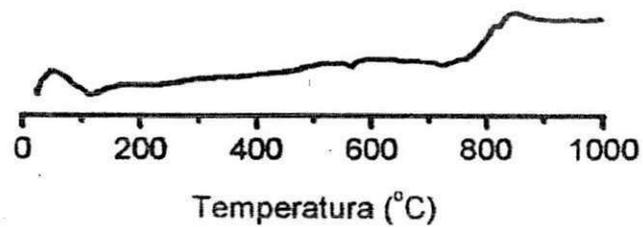


Figura 12 - Análise Termodiferencial do Resíduo

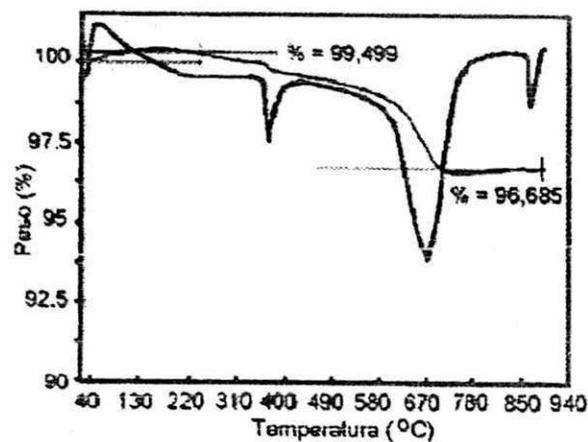


Figura 13 - Análise Termogravimétrica do Resíduo

b.5) Difração de Raios - X (DRX)

A Figura 14 apresenta as difrações de raios-X do resíduo estudado. Observando-se o diafragma observa-se nas fases do resíduo estudado quartzo (SiO_2), caracterizado pela distância interplanar de $3,34\text{\AA}$ microlina (feldspato potássio - KAlSi_3O_8), caracterizado por $4,24$ e $3,20\text{\AA}$ albita (feldspato sódio- $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), caracterizado por $4,03$ e $3,19\text{\AA}$ e em menor quantidade mica moscovita, caracterizado por $3,03$ e $2,13\text{\AA}$. Comparando esse resultado com o diafragma do resíduo de granito do Espírito Santo determinado por SILVA (1998) verificou-se que o resultado é similar. Analisando o resultado da difração de raio-X do resíduo estudado, verificou-se que este como sendo uma mistura de quartzo, feldspato, mica e calcita (NEVES,2002).

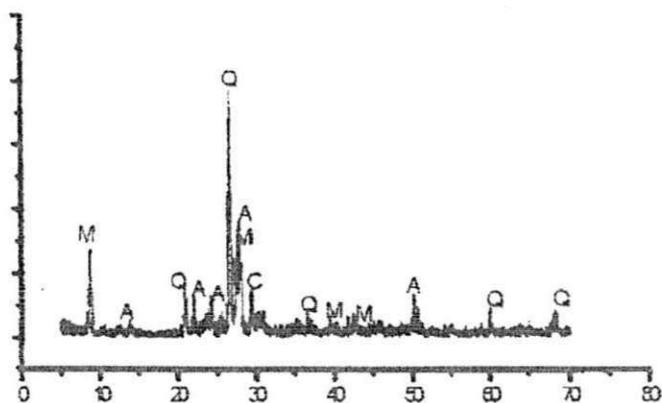


Figura 14 - Difração de raios - X do resíduo estudado

b.6) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Na Figura 15 e na Figura 16, são apresentados respectivamente a morfologia, dimensões e constituintes químicos do resíduo estudado obtidos por microscopia eletrônica de varredura (MEV) e por microsonda de energia dispersiva de raios-X (EDS).

As micrografias obtidas para o resíduo estudado. Na Figura 15 é mostrado uma vista geral da morfologia e distribuição dos tamanhos das partículas, e na Figura 16 um aumento da região A da Figura 15.

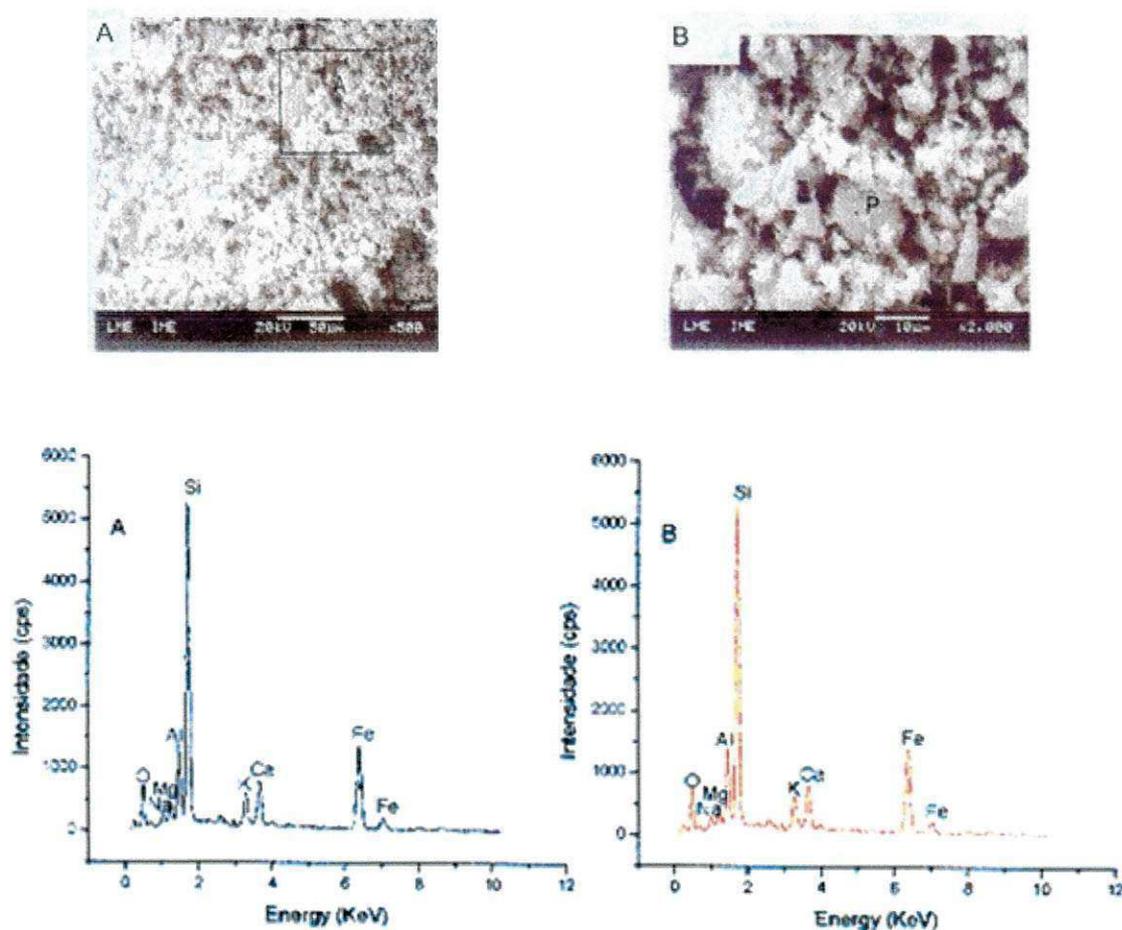


Figura 15 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise por microsonda de Energia Dispersiva (EDS) do resíduo

Após analisar os resultados, NEVES (2002) evidencia que o resíduo estudado apresentou partículas com morfologia irregular e superfície arredondada, enquanto outras fases presentes apresentam partículas com cantos angulosos com diâmetro equivalente variando de $1,42\mu\text{m}$ a $12,50\mu\text{m}$. Com relação aos constituintes químicos do resíduo o autor observou picos bem pronunciados de elevadas concentrações de Si, Fe, Ca, K, Al e outro pouco evidente de Mg. Há picos bem pronunciados de elevadas concentrações de Si proveniente da sílica livre e combinadas, Fe provenientes da granalha e da mica, Ca proveniente da cal, Al proveniente do feldspato, K proveniente do feldspato e ortoclássio e da mica e outros pouco evidentes de Mg proveniente da mica.

Para os resíduos obtidos para MEV e sua respectiva composição através do EDS o verifica-se que a na Fase 01, F1, apresenta picos bem pronunciados de composto ferruginoso com pouco oxigênio provavelmente ferro metálico proveniente da granalha.

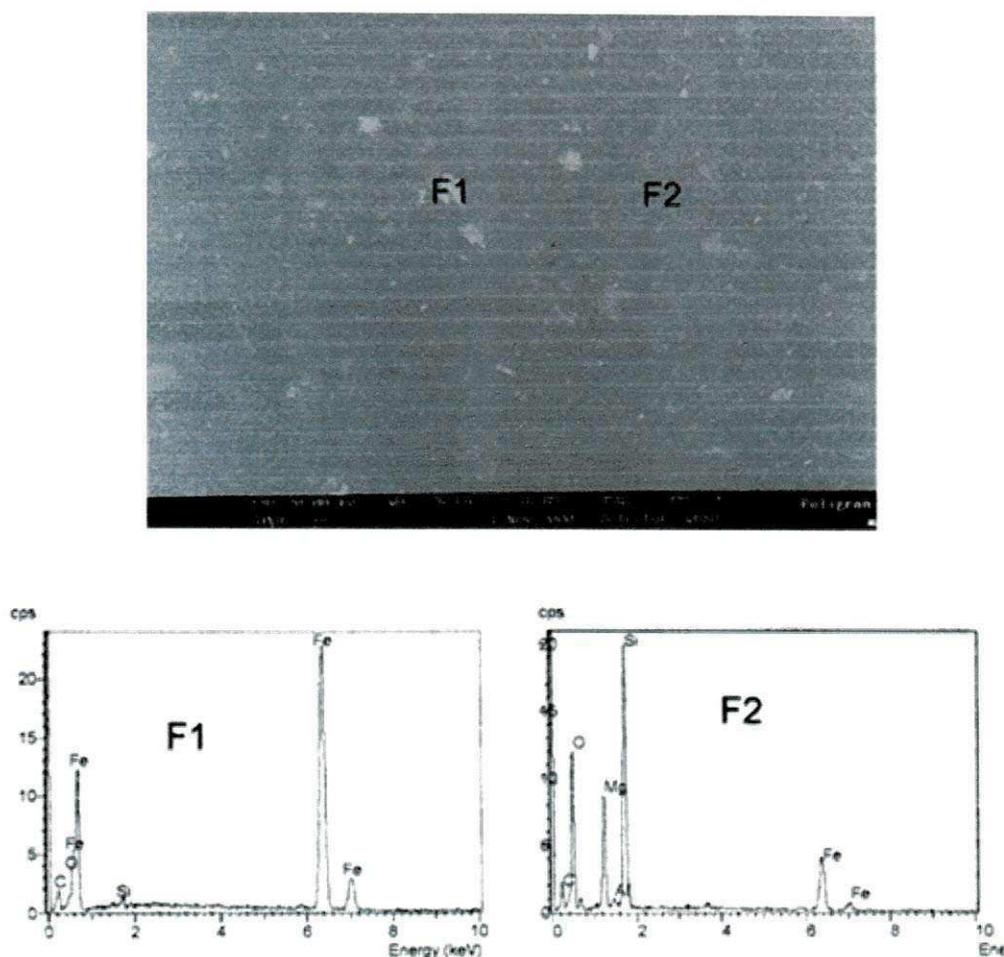


Figura 16 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e análise por microsonda de Energia Dispersiva (EDS) do resíduo prensado

Para a Fase 02, F2, verifica-se pico bem pronunciado de compostos de sílica e alumina oriunda da sílica livre e feldspato, magnésio oriundo da mica ou da cal de ferro proveniente da granalha e da mica. Estes resultados confirmam os valores obtidos pela análise química (NEVES, 2002).

b.7) Cimento Asfáltico de Petróleo

O cimento asfáltico, colocado em recipientes metálicos, foi mantido fechado para que não houvesse contaminação proveniente de outros materiais. A Tabela 12 apresenta dados característicos do CAP.

Tabela 12 – Características do Cimento Asfáltico

ENSAIOS	VALOR
Penetração (100g, 5s à 25° C)	58
Ponto de Fulgor (°C, min)	295
Densidade	1,020 g/cm ³
Viscosidade Saybolt Furol (135° C, s)	320

A mistura dos agregados apresentou uma distribuição dos tamanhos dos grãos que se enquadra entre os limites de domínio da Faixa "C" do DNER (Tabela 13).

Tabela 13 – Distribuição dos Tamanhos dos Grãos dos Agregados, "Filler"es e Limites Percentuais da Faixa "C" do DNER.

Peneiras (mm)	PORCENTAGEM PASSANDO								
	Brita		Areia		"Filler"		Combin. Result.	Especificação	
	Total	45%	Total	50%	Total	5%		Pt. Med.	Limites
38,100	100,0	45,0	100,0	50,0	100,0	5,0	100,0	100,0	100,0
25,400	100,0	45,0	100,0	50,0	100,0	5,0	100,0	100,0	100,0
19,100	98,7	44,5	100,0	50,0	100,0	5,0	99,4	100,0	100,0
12,700	74,0	33,3	100,0	50,0	100,0	5,0	88,3	92,5	85-100
9,520	54,3	24,4	99,7	49,8	100,0	5,0	79,2	87,5	75-100
4,750	8,8	3,9	97,3	48,6	100,0	5,0	57,5	67,5	50-85
2,000	2,6	1,2	89,0	44,5	100,0	5,0	50,7	52,5	30-75
0,420	0,6	0,3	27,8	13,9	100,0	5,0	19,2	27,5	15-40
0,180	0,5	0,2	6,0	3,0	100,0	5,0	8,2	19	8-30
0,075	0,3	0,1	2,3	1,2	100,0	5,0	6,3	7,5	5-10

4.2 - Ensaio em Misturas

A seguir serão apresentados os parâmetros obtidos a partir dos ensaios Marshall, Penetração e Viscosidade Saybolt Furol obtidos por SOUZA (2001) e neste estudo por LIMA (2003) respectivamente. Justifica-se a inclusão dos resultados obtidos por SOUZA (2001), pois os mesmos constituem o início do estudo do resíduo como "Filler" em misturas asfálticas.

4.2.1 - Ensaio Marshall

A seguir serão descritos e analisados alguns resultados obtidos por SOUZA (2001) relativos a ensaios Marshall, os quais estão relacionados a esta pesquisa.

a) Massa Específica Aparente

A Figura 17 apresenta as variações da massa específica aparente das misturas asfálticas para os "Filler"es cal, cimento e resíduo, respectivamente. Para a mistura com o "Filler" Cal, ao variar o teor de cimento asfáltico, entre 4,5 e 5,5%, houve um decréscimo da massa específica. Com o incremento do teor de cimento asfáltico, os valores encontrados para a massa específica da mistura, em geral, variaram, dentro do intervalo de confiança de 95%, de 2,31 a 2,34 g/cm³.

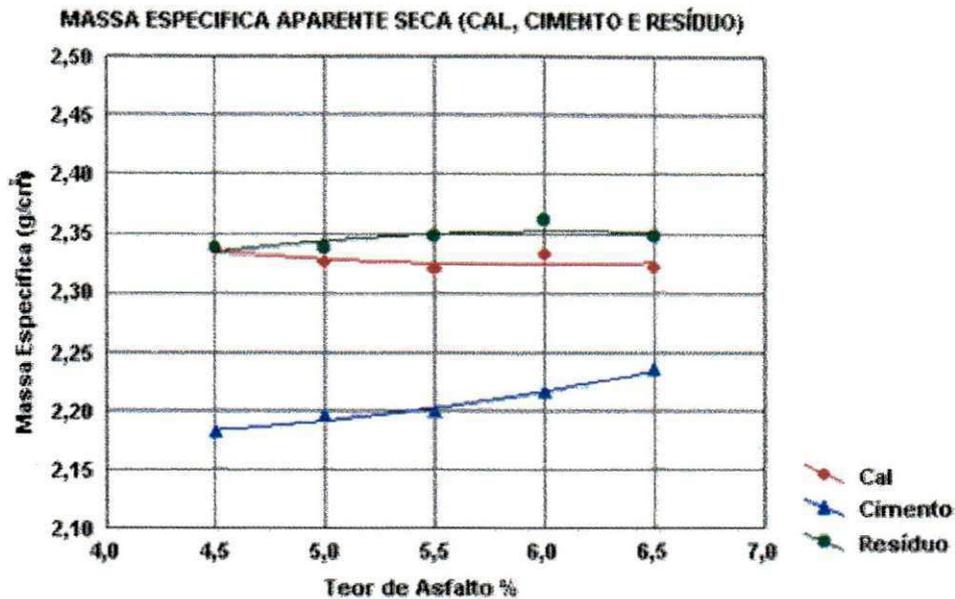


Figura 17 – Tendências da Massa Específica Aparente ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”

Ao analisar os resultados obtidos com o “Filler” cimento Portland, observa-se uma menor variabilidade dos valores de massa específica, com uma pequena tendência de variação em torno de um valor central, a média. Em seguida pode-se observar um aumento diretamente proporcional ao do teor de cimento asfáltico. A massa específica variou entre 2,17 a 2,24 g/cm³.

Para a mistura, com o resíduo, observa-se uma pequena dispersão de valores estimados de massa específica com um crescimento do parâmetro analisado, acompanhando do aumento no teor de cimento asfáltico. A massa específica variou entre 2,31 a 2,380 g/cm³.

De acordo com a norma de ensaio do DNER (ME 43/64) a massa específica exigida para todos os materiais tem que ser máxima, observando-se que se obteve valores máximos para os três materiais.

b) Estabilidade Marshall

A Figura 18 apresenta as variações da “estabilidade Marshall ” das misturas asfálticas para os “Filler”es cal, cimento e resíduo, respectivamente, obtidos por SOUZA (2001).

Os valores de estabilidade das misturas asfálticas apresentaram, para todos os “Filler”es, tendências de resultados típicos do ensaio Marshall, ou seja, incremento da estabilidade com o aumento na quantidade de ligante atingindo um valor máximo, onde a partir do qual ocorre um decréscimo. A estabilidade mínima exigida pelo método de ensaio, DNER (ME 43/64) é de 250 kgf (ensaios com 50 golpes sem imersão) foi alcançada para todos os materiais analisados.

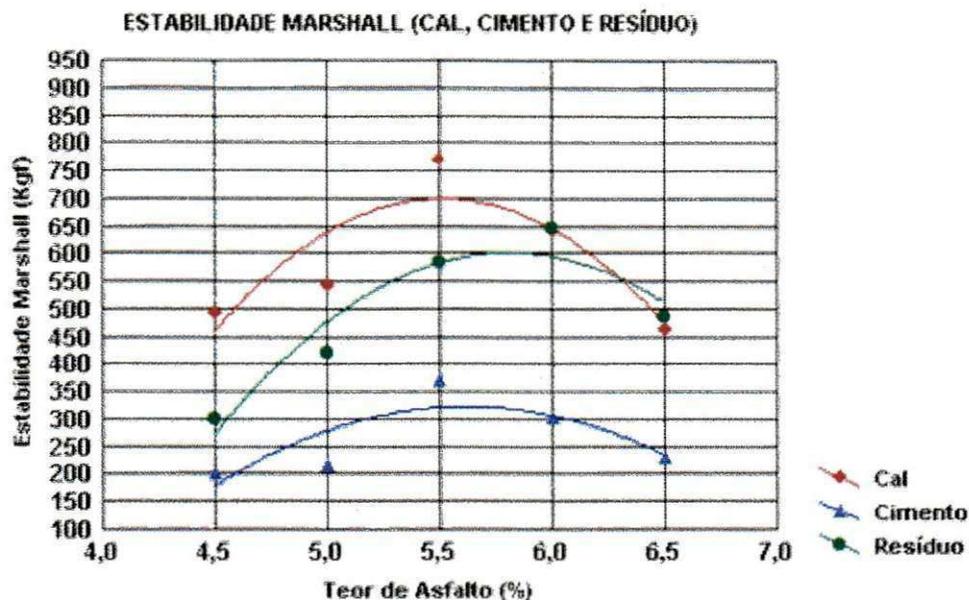


Figura 18 - Tendências da Estabilidade ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”

Para a mistura onde foi utilizada a cal como “Filler”, o comportamento mecânico sugere valores satisfatórios de estabilidade, entretanto, dos materiais estudados, foi a que apresentou a maior dispersão em torno do valor central e da média do teor ótimo. O valor mínimo de estabilidade foi alcançado com 4,5% de ligante e a estabilidade máxima com 5,5% de ligante.

Para a mistura com o “Filler” cimento Portland, o comportamento mecânico representado pela estabilidade Marshall, apresentou dispersões menores em torno dos valores médios, em geral, uma baixa estabilidade. A estabilidade mínima exigida foi alcançada com 5,5% de cimento asfáltico. Este valor representa a máxima estabilidade alcançada, porém, esses valores foram menores que os obtidos a partir de misturas onde foi utilizado, a cal e o resíduo, material este, que apresentou um melhor conjunto (baixa dispersão e alta estabilidade). A estabilidade mínima exigida, para a mistura asfáltica com o “Filler” “resíduo” foi alcançada com um teor de cimento asfáltico de 4,5% e a máxima com 6%, um pouco acima do verificado nos demais materiais analisados.

c) Fluência Marshall

A Figura 19 apresenta as variações da fluência das misturas asfálticas para os fileres cal, cimento e resíduo, respectivamente, obtidas por SOUZA (2001).

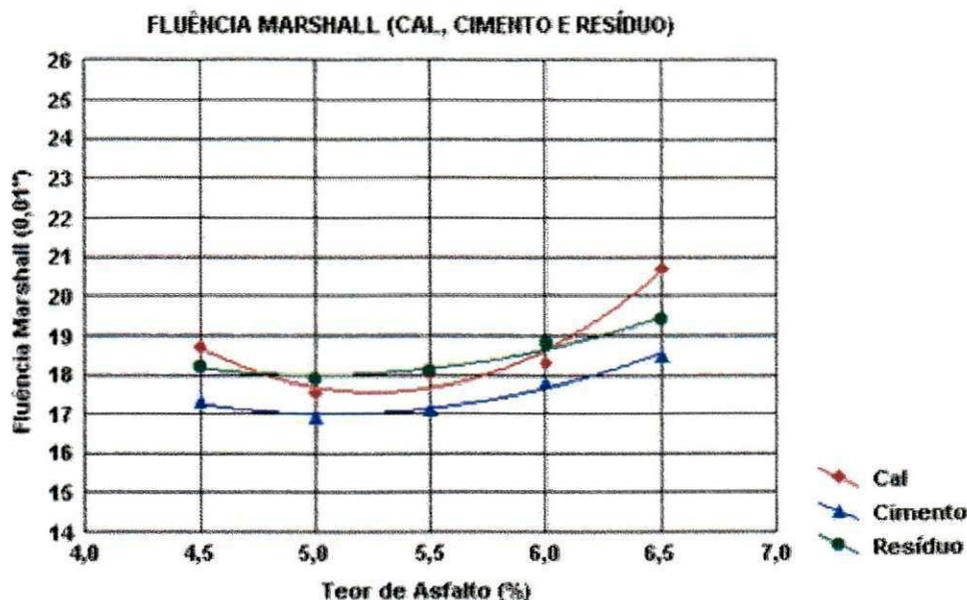


Figura 19 - Tendências da Fluência ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”

Conforme exigências do método de ensaio DNER ME 43-95 a fluência desejada para misturas asfálticas deve estar dentro do intervalo estabelecido (8 a 18). A cal apresentou dispersões para os seus valores médios de fluência, porém o intervalo de 17,32 a 18,67, com um nível de significância de 5%, ficou no intervalo preconizado pelo DNER. Para o cimento Portland, os valores obtidos de fluência situaram-se dentre os limites acima citados. Em geral, o comportamento da mistura asfáltica com o “Filler” cimento, representados pela fluência, qualitativamente, foi inferior ao verificado com a cal e semelhante ao observado pela mistura asfáltica com o “Filler” resíduo em termos de tendências.

d) Relação Betume - Vazios

A Figura 20 apresenta as variações da relação betume-vazios das misturas asfálticas contendo os “Filler”es cal, cimento e resíduo, respectivamente, obtidas por SOUZA (2001).

O método de ensaio DNER ME 43-95 sugere que sejam observados os limites mínimos e máximos, de $75 \leq RBV \leq 82$, para aceitação da relação betume-vazios. Pode-se inferir que os resultados obtidos para as misturas com os “Filler”es cal, cimento e resíduo, apresentaram pequenas dispersões nos valores estimados sobre média. Para a cal o teor de cimento asfáltico, considerando a RBV, foi de 6,5%. Para o cimento Portland o conjunto de valores estimados sugere teor de cimento asfáltico de 5,5%. O resíduo apresentou baixa dispersão com o teor ótimo de cimento asfáltico de 6%.

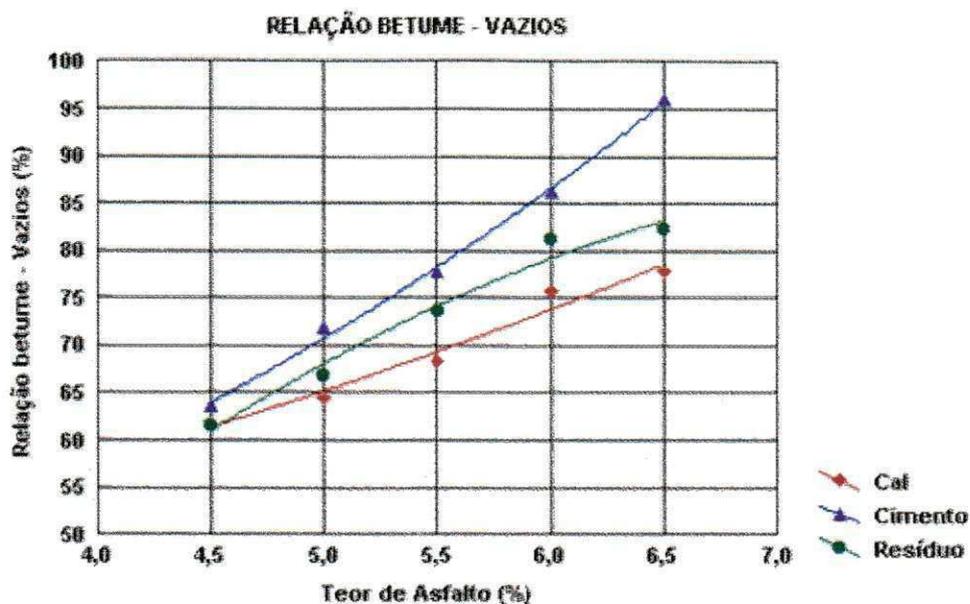


Figura 20 - Tendências da Relação Betume-Vazios ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”

e) Volume de Vazios

A Figura 21 apresenta as variações do teor de vazios das misturas asfálticas para os “Filler”es cal, cimento e resíduo, respectivamente, obtidas por SOUZA (2001).

Os limites mínimo e máximo do percentual de vazios sugeridos pelo DNER (ME 43/95) são de 3% e 5% respectivamente. Observa-se que para a mistura asfáltica, na qual foram utilizados os “Filler”es cal e cimento Portland, o teor de cimento asfáltico estimado, que correspondeu ao que preconiza o DNER, foram de 6,5 e 5,5%, respectivamente. A mistura asfáltica, que tem como “Filler” o resíduo, enquadrou-se dentro dos limites sugeridos pelo DNER com um teor de 6% de cimento asfáltico.

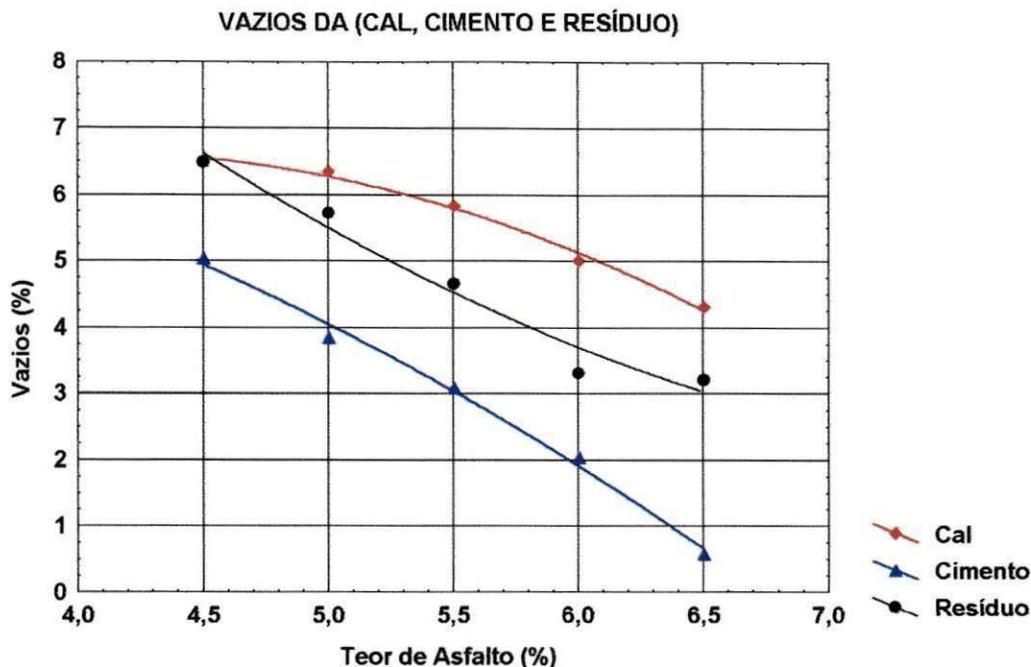


Figura 21 - Tendências de Volume de Vazios ““Filler”es Cal, Cimento e Resíduo”

4.2.2 - Variabilidade do teor de “Filler” e seus Efeitos

Na etapa anterior de ensaios SOUZA (2001), trabalhou com uma mistura asfáltica composta com 45% de agregado graúdo, 50% de agregado miúdo e 5% de “Filler”. Nesta fase, o autor procurou observar o comportamento da mistura asfáltica com diferentes percentuais de “Filler” (resíduo). SOUZA (2001) estudou o incremento do teor de “Filler” resíduo nos percentuais de 4%, 6% e 7%, valores em torno do percentual de 5% , geralmente adotada em misturas asfálticas. O critério adotado para definição desses valores foi baseado nos resultados obtidos em estudos realizados por RUIZ (1959) apud SOUZA (2001), em que, o autor descreve: *“...num sistema “Filler”-asfalto, se aumentarmos a quantidade de “Filler”, as partículas tendem a aproximar-se, diminuindo os poros, tendendo a formar uma estrutura que vai tornar o mástique rígido, tornando frágil e quebradiço (concentração crítica)”*.

A seguir serão apresentados, de forma resumida, alguns resultados obtidos por SOUZA (2001) em seus estudos.

a) Massa Especifica Aparente

A Figura 22 apresenta gráfico da massa especifica aparente das misturas asfálticas para o “Filler” resíduo, com os teores de 4, 6 e 7%.

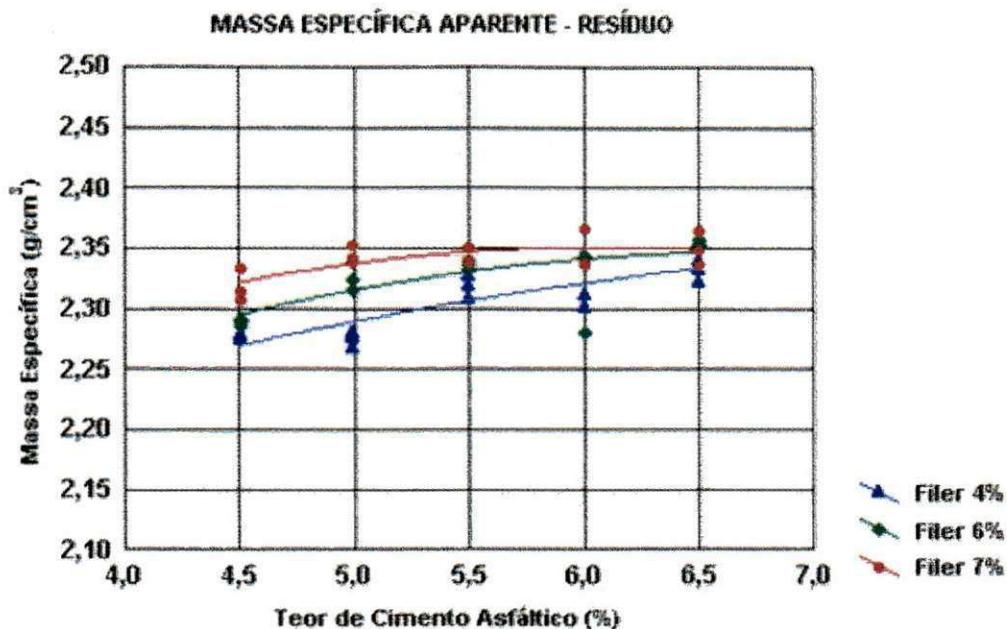


Figura 22 - Massa Específica Aparente das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler" Resíduo

Ao diminuir o percentual de "Filler" de resíduo para 4%, observou-se uma diminuição nos valores da massa específica. Ao aumentar este percentual para 6% e 7% houve um incremento nos valores do parâmetro analisado.

b) Estabilidade Marshall

A estabilidade foi influenciada com a diminuição no percentual de "Filler" para 4%. Nesta fase, a estabilidade máxima da mistura, com 5% de "Filler", foi estimada para um teor de cimento asfáltico de 6%. Porém, ao acrescentar a taxa de "Filler" na mistura para 6%, observou-se que o valor ótimo para estabilidade corresponde a um teor de cimento asfáltico de 5,5%. Com aumento no percentual de "Filler" para 7%, o valor da estabilidade estimada, para o teor ótimo de cimento asfáltico, decresceu (Figura 23).

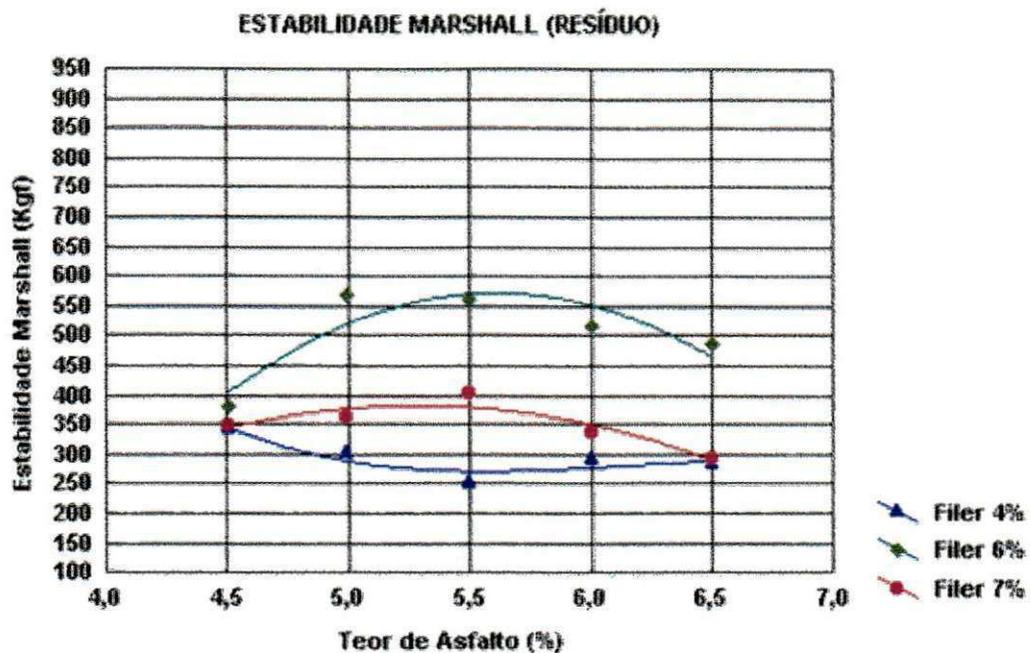


Figura 23 - Estabilidade das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler" Resíduo

c) Fluência Marshall

Este parâmetro só foi influenciado quando alterado o percentual de "Filler" para 4%. SOUZA (2001), observou um decréscimo nos valores obtidos, porém, ao aumentar para 6% e 7%, não houve influência significativa. Vale ressaltar, que para todos os teores de ligantes e percentuais de "Filler" analisados os valores encontraram-se dentro dos limites estabelecidos pelo DNER (ME 43/94) (Figura 24).

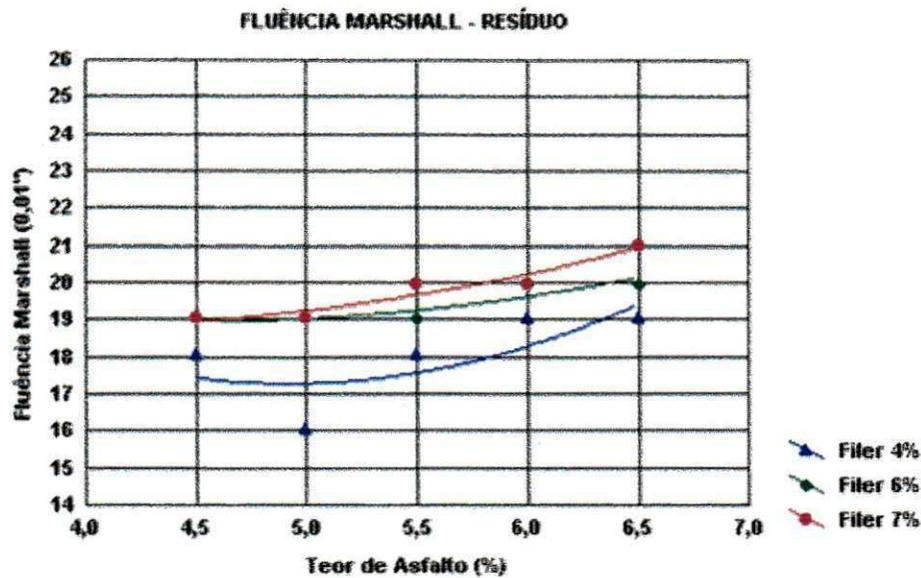


Figura 24 - Fluência das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler" Resíduo

d) Relação Betume – Vazios

O parâmetro RBV no experimento de SOUZA (2001) foi influenciado pela variação no percentual do "Filler" resíduo. Com a diminuição deste, houve uma redução nos valores estimados para o respectivo parâmetro. Ao aumentar tal percentual, observou-se um incremento gradativo do RBV. Para o percentual de "Filler" de 7%, o comportamento da mistura, expresso pela tendência da curva de ajuste, foi semelhante com a tendência verificada na curva de ajuste para o percentual de "Filler" de 5% (Figura 25).

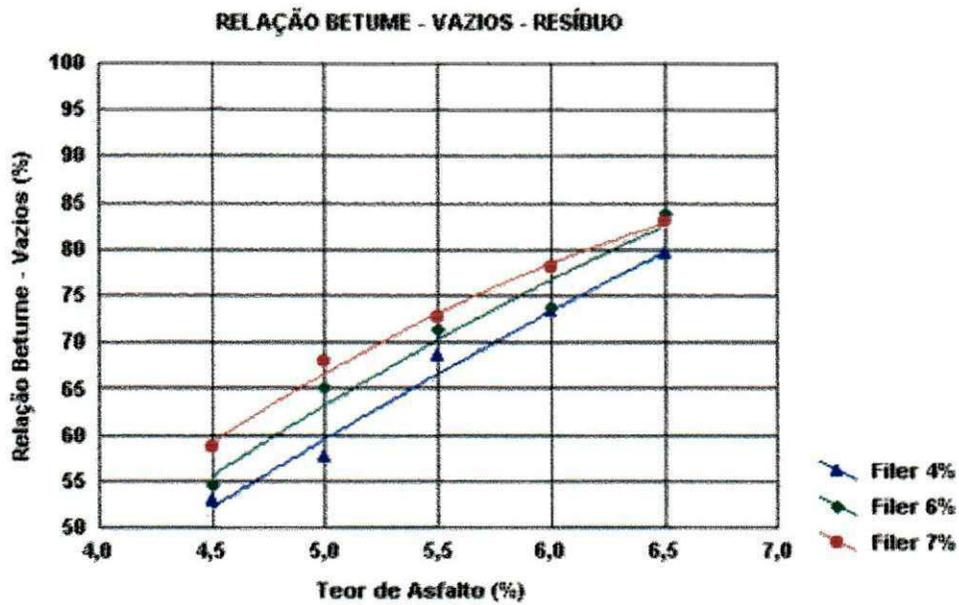


Figura 25 --Relação Betume-Vazios das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do "Filler"
Resíduo

e) Volume de Vazios

Em análise ao gráfico lançados na Figura 26, SOUZA (2001) observou uma influência da modificação do percentual de "Filler" na mistura asfáltica. Ao diminuir tal percentual, os vazios da mistura aumentaram, sem no entanto, extrapolar os limites estabelecidos pelo método de ensaios do DNER ME (43-64), que é de $(3 \leq VV \leq 5)$, para o teor de cimento asfáltico de 6%.

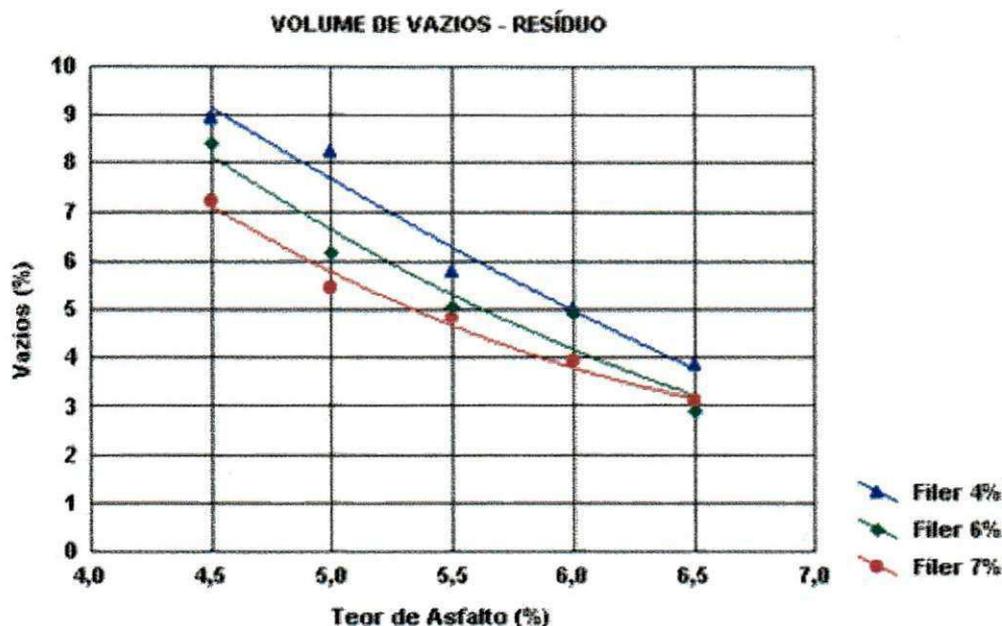


Figura 26 - Volume de vazios das Misturas Asfálticas para os Teores 4%, 6% e 7% do “Filler” Resíduo

4.2.3 - Ensaio Marshall - 50 Golpes com e sem Imersão

A seguir apresentam-se os resultados, gráficos e tabelas, da variação dos parâmetros obtidos, a partir do ensaio Marshall obtidos neste estudo, com aplicação de 50 golpes em corpos de prova de misturas asfálticas submetidos à imersão em banho Maria e sem imersão.

a) Massa Específica Aparente

A Figura 27 apresenta as variações da massa específica aparente das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

A Tabela 14 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medida de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para da massa específica aparente das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

Os valores de massa específica aparente dos corpos de prova moldados para a realização dos ensaios Marshall, não apresentaram diferenças estatísticas significativas com relação a este parâmetro. Isto permite afirmar que a análise dos resultados sobre os parâmetros obtidos após esta fase deverá ser feita, exclusivamente, devido a modificações ou etapas de ensaios subseqüentes a esta.

De acordo com a norma de ensaio do DNER (ME 43/64) a massa específica exigida deve ser máxima, de onde se observou que obteve os valores alcançados para os corpos de prova tanto de 50 golpes com imersão e sem imersão.

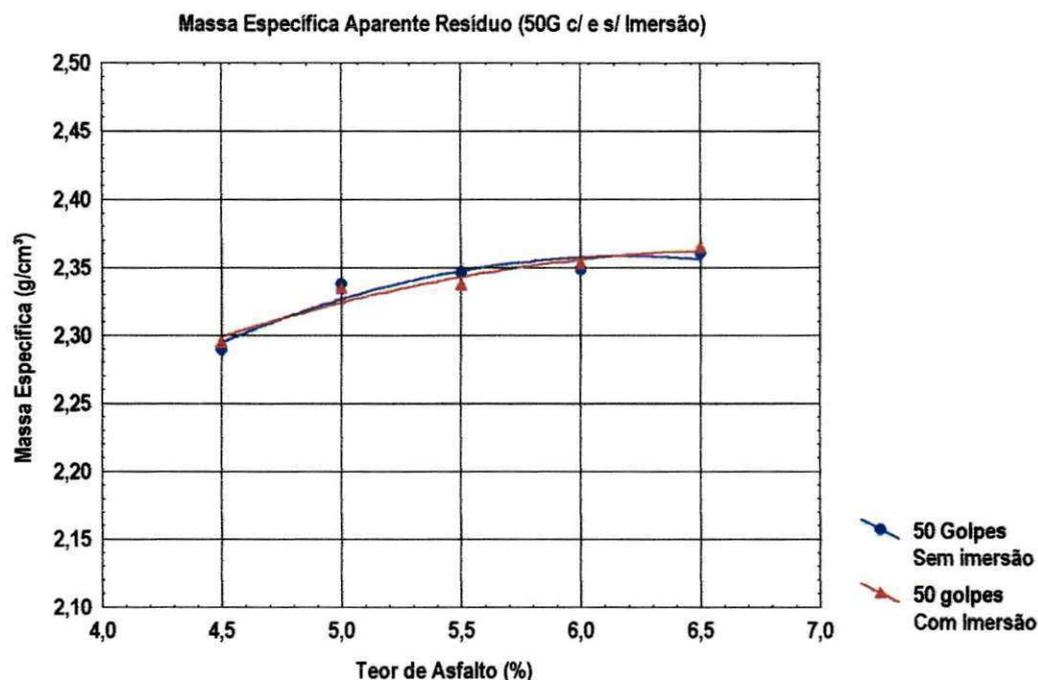


Figura 27- Massa Específica Aparente e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ 2e s/ Imersão

Tabela 14 -Estatísticas da massa específica aparente das misturas asfálticas (50 Golpes c/ e s/ imersão)

Sem imersão (g/cm³)					
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
4,5	2,289605	0,013844	2,272415	2,306795	5
5,0	2,336947	0,004536	2,331315	2,34258	5
5,5	2,346346	0,001469	2,344522	2,348171	5
6,0	2,348323	0,012452	2,332861	2,363785	5
6,5	2,360263	0,00688	2,351721	2,368806	5
Com imersão (g/cm³)					
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
4,5	2,294203	0,013625	2,277285	2,311121	5
5,0	2,333079	0,004502	2,327488	2,338669	5
5,5	2,337127	0,006187	2,329444	2,344809	5
6,0	2,352157	0,012474	2,336668	2,367646	5
6,5	2,364361	0,0039	2,359519	2,369203	5

b) Estabilidade Marshall

A Figura 28 apresenta as variações da Estabilidade Marshall das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

A Tabela 15 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medida de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para da estabilidade Marshall das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

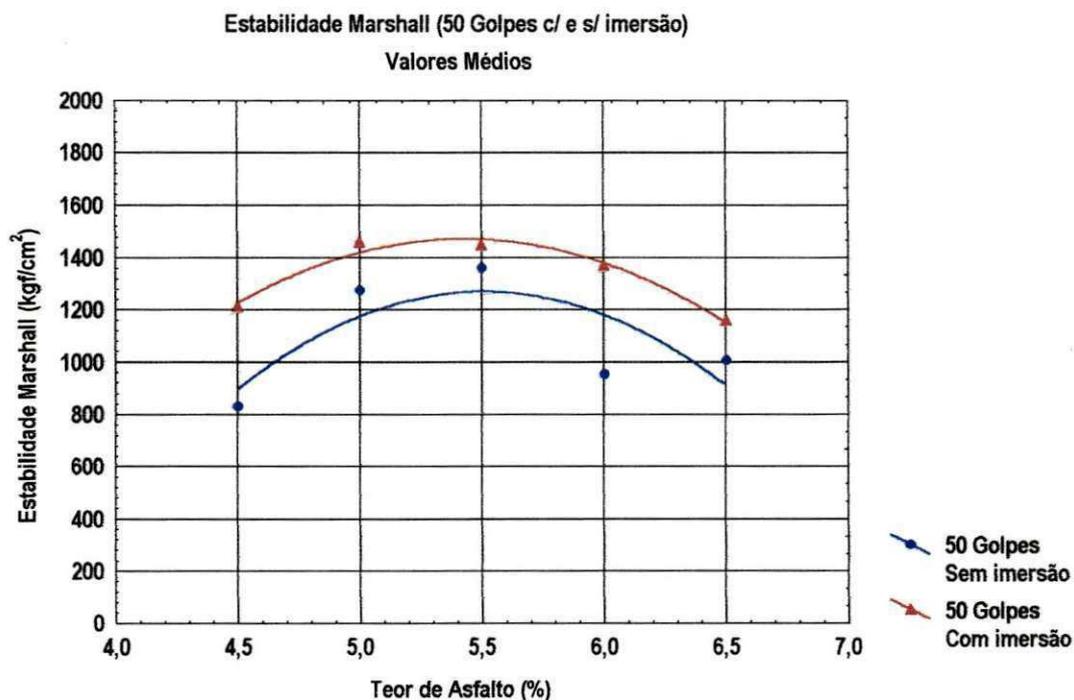


Figura 28 - Estabilidade Marshall e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ e s/ Imersão

Tabela 15 – Estatísticas da estabilidade Marshall das misturas asfálticas (50 Golpes c/ e s/ imersão)

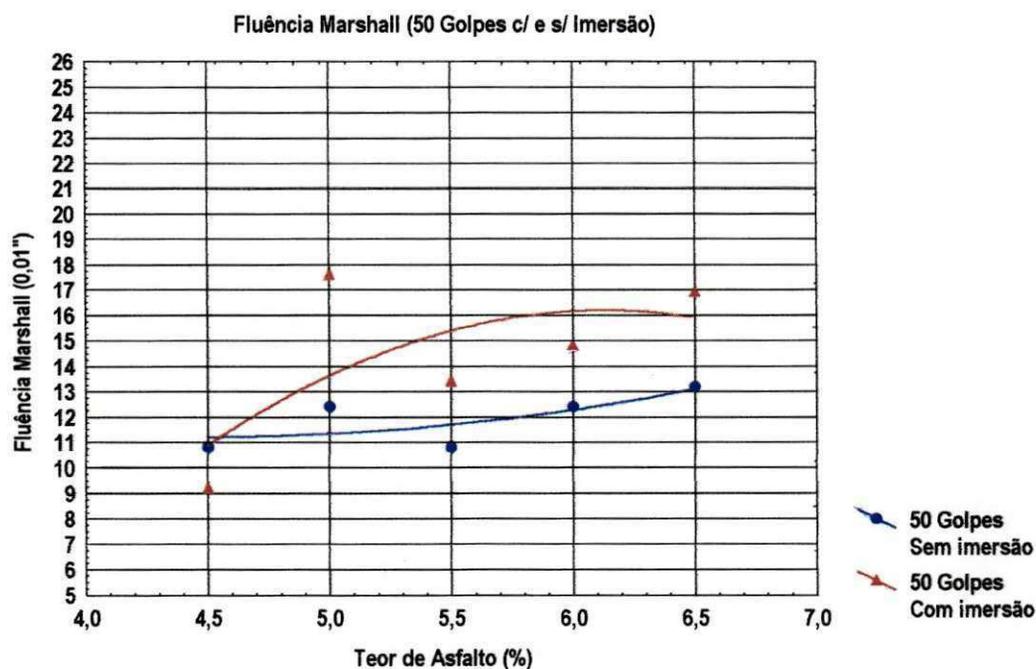
Sem imersão (Kgf)						
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N	
1	4,5	830,805	129,3105	670,2448	991,3652	5
2	5,0	1275,073	162,7233	1073,025	1477,12	5
3	5,5	1363,533	172,9067	1148,841	1578,225	5
4	6,0	955,0193	120,9681	804,8176	1105,221	5
5	6,5	1007,399	105,0484	876,9645	1137,834	5
Com imersão (Kgf)						
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N	
1	4,5	1208,861	98,20489	1086,923	1330,798	5
2	5,0	1458,5	199,1971	1211,164	1705,836	5
3	5,5	1446,014	147,9028	1262,368	1629,66	5
4	6,0	1367,712	150,6372	1180,671	1554,752	5
5	6,5	1158,529	43,77379	1104,177	1212,882	5

Os valores de estabilidade das misturas asfálticas apresentaram as mesmas tendências de resultados típicos do ensaio Marshall, ou seja, incremento da estabilidade com o aumento na quantidade de ligante atingindo um valor máximo, onde a partir do qual ocorre um decréscimo. A estabilidade mínima exigida, pelos métodos de ensaio DNER- ME 43/95 NBR 12891/1993, para 50 golpes, é de 250 kgf. Este valor foi alcançado para ambos ensaios, com e sem imersão.

Observa-se que ocorreu um incremento no parâmetro Estabilidade quando os corpos de prova são submetidos à imersão em banho Maria. O valor do teor ótimo de CAP, a partir dos resultados de Estabilidade pode ser considerado de 5,5 % tanto para corpos de prova submetidos a imersão, em banho Maria, quanto para os que não foram submetidos a imersão. (Figura 28 e Tabela 15).

c) Fluência Marshall

A Figura 29 apresenta as variações da Fluência Marshall das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.



**Figura 29 - Fluência Marshall e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo)
50 Golpes c/ e s/ Imersão**

Tabela 16 – Estatísticas da fluência Marshall das misturas asfálticas (50 Golpes c/ e s/ imersão)

Sem imersão (0,01")						
	Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1	4,5	10,8	1,095445	9,439825	12,16017	5
2	5,0	12,4	0,547723	11,71991	13,08009	5
3	5,5	10,8	2,949576	7,137617	14,46238	5
4	6,0	12,4	1,516575	10,51692	14,28308	5
5	6,5	13,2	2,387467	10,23557	16,16443	5
Com imersão (0,01")						
	Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1	4,5	9,4	2,19089	6,67965	12,12035	5
2	5,0	14,2	1,30384	12,58107	15,81893	5
3	5,5	11,8	2,588436	8,586032	15,01397	5
4	6,0	12,6	2,302173	9,741475	15,45853	5
5	6,5	13,8	1,923538	11,41161	16,18839	5

A Tabela 16 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medida de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para da fluência Marshall das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

A norma do DNER ME 43-64 descreve que a fluência desejada para as misturas asfálticas deve estar dentro do intervalo estabelecido (8 a 18). Ao observar a figura 30, verificou-se que os resultados obtidos para os corpos de prova de 50 golpes com e sem imersão, apresentaram valores dentro da faixa estabelecida pela norma, onde praticamente não houve nenhuma diferença entre os corpos de prova com e sem imersão.

d) Relação Betume – Vazios

A Figura 30 apresenta as variações de RBV das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

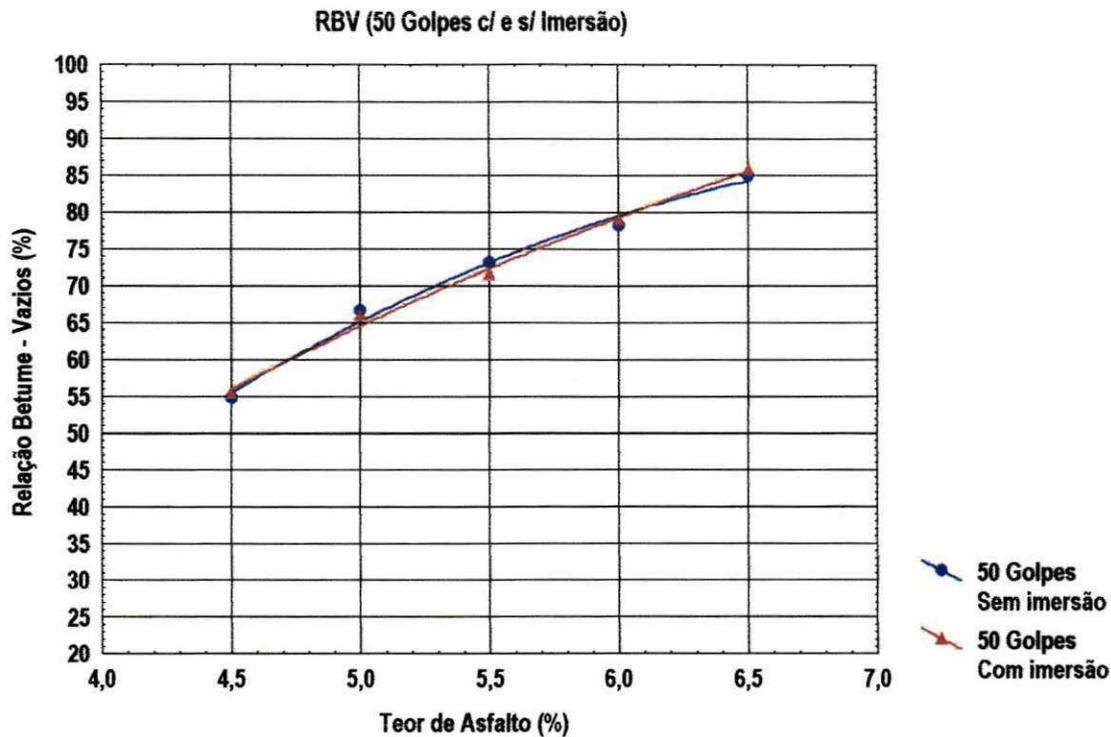


Figura 30 - RBV e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ e s/ Imersão

Tabela 17 - Estatísticas de RBV das misturas asfálticas (50 Golpes)

		Sem imersão (%)				
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N	
1	4,5	54,76505	1,844428	52,47489	57,05521	5
2	5,0	66,5787	0,748956	65,64875	67,50865	5
3	5,5	73,08169	0,264489	72,75328	73,41009	5
4	6,0	78,17554	2,296246	75,32437	81,0267	5
5	6,5	84,98283	1,381032	83,26805	86,6976	5
		Com imersão (%)				
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N	
1	4,5	55,36399	1,773743	53,16159	57,56638	5
2	5,0	65,94309	0,730542	65,036	66,85018	5
3	5,5	71,46332	1,060581	70,14643	72,78021	5
4	6,0	78,90449	2,374663	75,95596	81,85302	5
5	6,5	85,81307	0,809321	84,80817	86,81798	5

A Tabela 17 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medida de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para RBV das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

Os valores de RBV dos corpos de prova moldados para a realização dos ensaios Marshall, não apresentaram diferenças estatísticas significativas com relação a este parâmetro. Isto permite afirmar que a

análise dos resultados sobre os parâmetros obtidos após esta fase deverá ser feita, exclusivamente, devido a modificações ou etapas de ensaios subseqüentes a esta.

O método de ensaio do DNER ME 43-64 sugere que seja observado o limite máximo e mínimo, de $75 \leq RBV \leq 82$, para a aceitação da relação betume-vazios. Ao observar a figura 31, verificou-se que os valores dos corpos de prova para 50 golpes com e sem imersão, apresentaram valores dentro da norma, onde praticamente não houve nenhuma diferença entre os corpos de prova com e sem imersão.

e) Volume de Vazios

A Figura 31 apresenta as variações do volume de vazios das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

A Tabela 18 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medida de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para o volume de vazios das misturas asfálticas para corpos de prova submetidos à imersão e sem imersão.

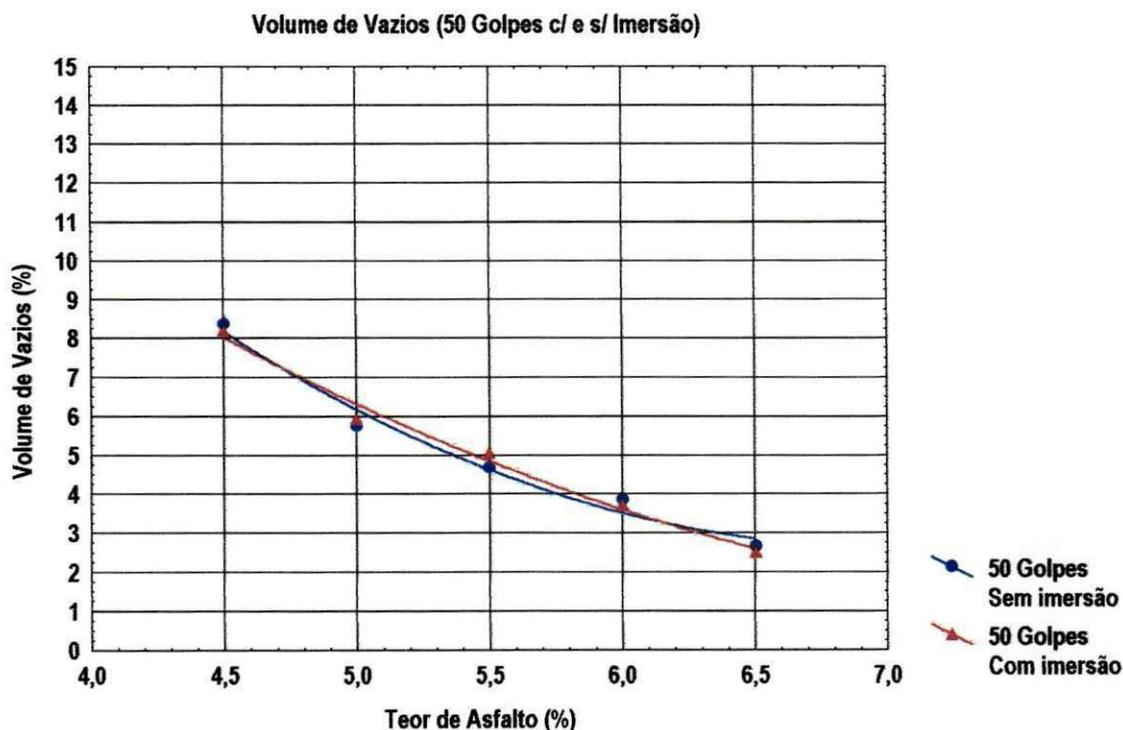


Figura 31 - Volume de Vazios e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 50 Golpes c/ e s/ Imersão

Tabela 18 Estatísticas de vazios das misturas asfálticas (50 Golpes c/ e s/ imersão)

Sem imersão (%)					
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1 4,5	8,356691	0,554128	7,66865	9,044731	5
2 5,0	5,751963	0,182939	5,524814	5,979112	5
3 5,5	4,660236	0,059695	4,586116	4,734357	5
4 6,0	3,866652	0,509766	3,233694	4,499609	5
5 6,5	2,66097	0,283729	2,308674	3,013266	5
Com imersão (%)					
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1 4,5	8,172659	0,545362	7,495503	8,849816	5
2 5,0	5,907982	0,181581	5,682519	6,133445	5
3 5,5	5,034871	0,251416	4,722697	5,347045	5
4 6,0	3,709709	0,510668	3,075631	4,343787	5
5 6,5	2,491958	0,16082	2,292273	2,691643	5

Os valores de Volume de Vazios dos corpos de prova moldados para a realização dos ensaios Marshall, não apresentaram diferenças estatísticas significativas com relação a este parâmetro. Isto permite afirmar que a análise dos resultados sobre os parâmetros obtidos após esta fase deverá ser feita, exclusivamente, devido a modificações ou etapas de ensaios subseqüentes a esta.

Os limites máximo e mínimo de vazios exigido pelo DNER ME 43-64 são de 3% e 5% respectivamente. Observa-se que para os corpos de 50 golpes com e sem imersão, apresentaram valores dentro da norma, onde praticamente não houve nenhuma diferença entre os corpos de prova com e sem imersão.

4.2.4 - Ensaio Marshall - 75 Golpes com e sem Imersão

A seguir apresentam-se os resultados, gráficos e tabelas, das variações dos parâmetros obtidos neste estudo a partir do ensaio Marshall, com aplicação de 75 golpes em corpos de prova de misturas asfálticas submetidos imersão em banho Maria e sem imersão, onde fora utilizado o "Filler" residuo.

a) Massa Específica Aparente

A Figura 32 apresenta as variações da Massa Específica Aparente da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos a 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

A Tabela 19 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medidas de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para a massa específica aparente da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos à 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

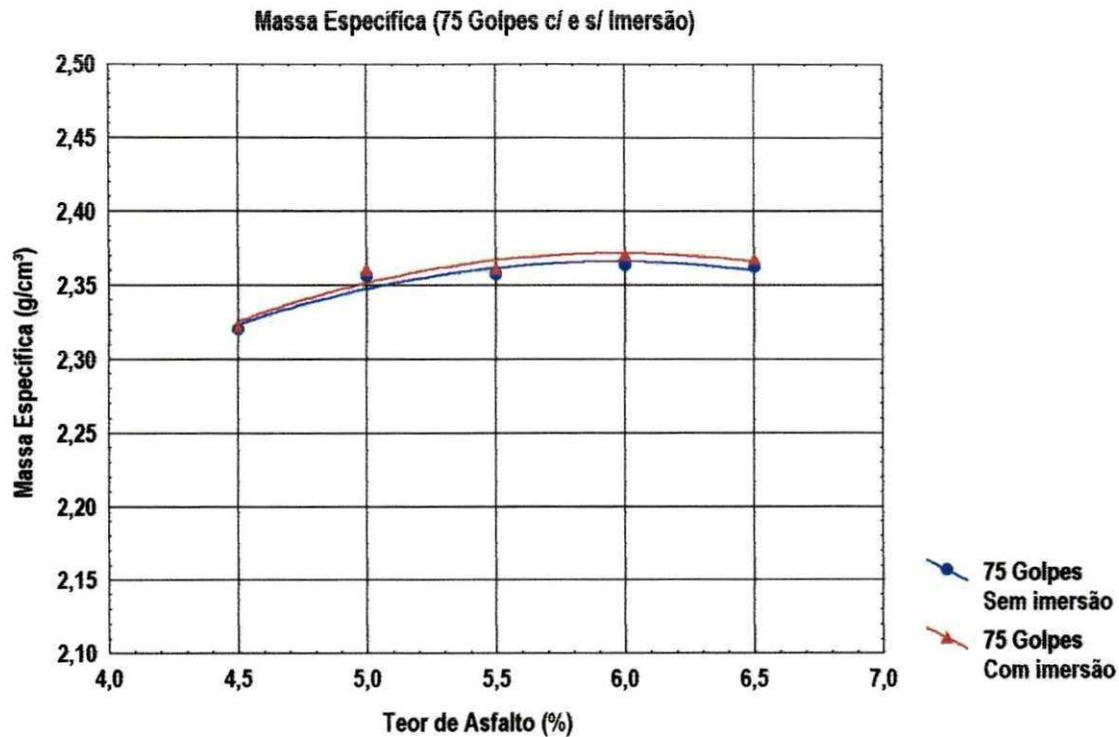


Figura 32 - Massa Específica Aparente e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão

Os valores de massa específica aparente dos corpos de prova moldados para a realização dos ensaios Marshall, não apresentaram diferenças estatísticas significativas com relação a este parâmetro. Isto permite afirmar que a análise dos resultados sobre os parâmetros obtidos após esta fase deverá ser feita, exclusivamente, devido a modificações ou etapas de ensaios subsequentes a esta.

De acordo com a norma de ensaio do DNER (ME 43/64) a massa específica exigida deve ser máxima, de onde se observou que obteve os valores alcançados para os corpos de prova tanto de 75 golpes com imersão e sem imersão.

**Tabela 19 – Estatísticas da massa específica aparente das misturas asfálticas
(75 Golpes c e s/imersão)**

Sem imersão (g/cm ³)						
	Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1	4,5	2,319775	0,029044	2,283712	2,355837	5
2	5,0	2,356045	0,014722	2,337765	2,374324	5
3	5,5	2,356991	0,008659	2,34624	2,367743	5
4	6,0	2,363159	0,008603	2,352477	2,37384	5
5	6,5	2,361971	0,004618	2,356237	2,367704	5
Com imersão (g/cm ³)						
	Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1	4,5	2,321605	0,010264	2,30886	2,33435	5
2	5,0	2,359964	0,006534	2,35185	2,368077	5
3	5,5	2,360884	0,007601	2,351446	2,370322	5
4	6,0	2,37012	0,00452	2,364507	2,375733	5
5	6,5	2,367121	0,007127	2,358271	2,37597	5

b) Estabilidade Marshall

A Figura 33 apresenta as variações da Estabilidade Marshall da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos a 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

A Tabela 20 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medidas de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para a estabilidade Marshall da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos à 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

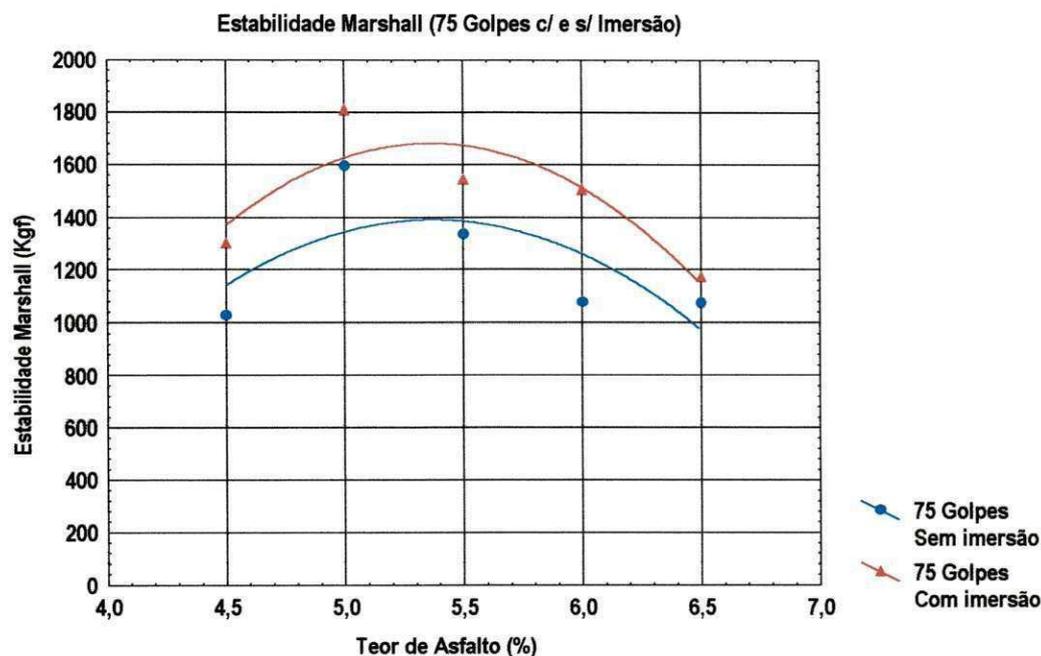


Figura 33 - Estabilidade Marshall e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão

Tabela 20 – Estatísticas da estabilidade Marshall das misturas asfálticas (75 Golpes c e s/ imersão)

		Sem imersão (Kgf)				
	Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1	4,5	1027,711	146,2791	846,0817	1209,341	5
2	5,0	1597,388	372,371	1135,029	2059,748	5
3	5,5	1339,209	87,66694	1230,356	1448,062	5
4	6,0	1079,998	86,94306	972,0439	1187,952	5
5	6,5	1074,841	88,51576	964,9346	1184,748	5
		Com imersão (Kgf)				
	Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1	4,5	1304,177	100,1972	1179,765	1428,588	5
2	5,0	1811,331	206,7023	1554,677	2067,986	5
3	5,5	1544,624	136,3275	1375,351	1713,897	5
4	6,0	1506,996	162,0565	1305,776	1708,216	5
5	6,5	1172,924	122,8512	1020,384	1325,464	5

Os valores de estabilidade das misturas asfálticas apresentaram as mesmas tendências de resultados típicos do ensaio Marshall, ou seja, incremento da estabilidade com o aumento na quantidade de ligante atingindo um valor máximo, onde a partir do qual ocorre um decréscimo. A estabilidade mínima exigida, pelos métodos de ensaio DNER- ME 43/95 e NBR 12891/1993, para 75 golpes, é de 350 kgf. para ambos ensaios esse valor foi superado foi alcançada com e sem imersão.

Observa-se que ocorreu um incremento no parâmetro Estabilidade quando os corpos de prova são submetidos à imersão em banho Maria. O valor do teor ótimo de CAP, a partir dos resultados de Estabilidade

,pode ser considerado de 5,5 % tanto para corpos de prova submetidos à imersão, quanto para os que não foram submetidos a imersão. (Figura 33 e Tabela 20).

c) Fluência Marshall

A Figura 35 apresenta as variações da Fluência Marshall da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos a 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

A Tabela 21 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medidas de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para a fluência Marshall da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos à 75 golpes com e sem imersão em banho Maria

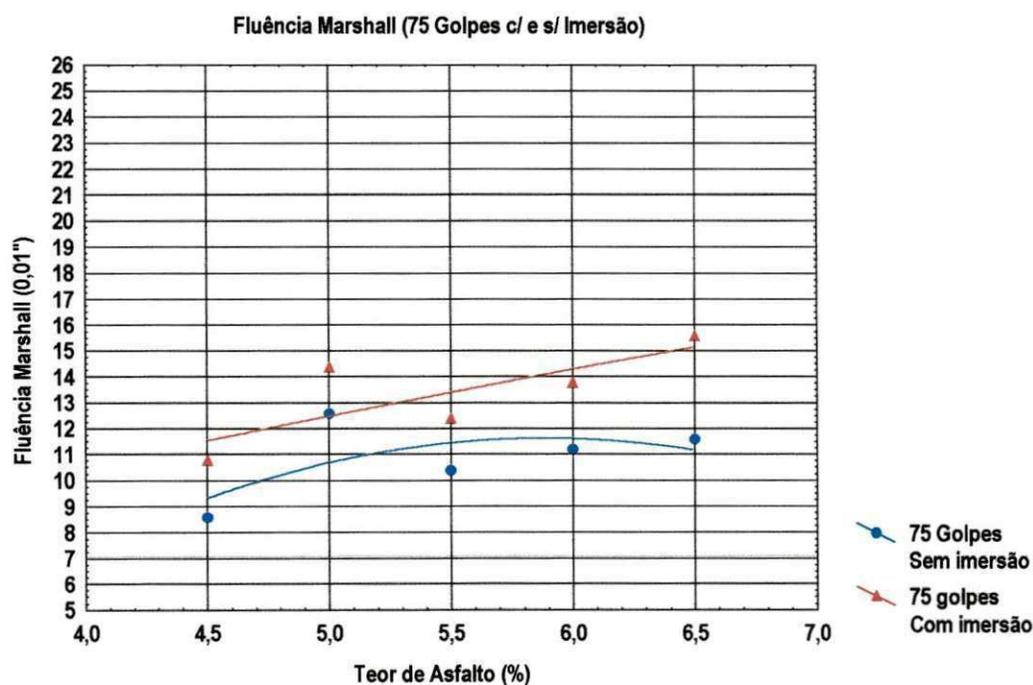


Figura 34 - Fluência e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão

Os valores de Fluência Marshall apresentaram incremento da estabilidade com o aumento na quantidade de ligante atingindo um valor máximo, onde a partir do qual ocorre um decréscimo. A Fluência máxima e mínima exigida, pelos métodos de ensaio DNER- ME 43/95 e NBR 12891/1993, para 75 golpes, é de 8 e 18 respectivamente foi alcançada para ambos ensaios, com e sem imersão. Observa-se que ocorreu um incremento no parâmetro quando os corpos de prova foram submetidos à imersão em banho Maria (Figura 34).

Tabela 21 – Estatísticas da fluência Marshall das misturas asfálticas (75 Golpes c/ e s/ imersão)

Sem imersão (0,01")						
	Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1	4,5	8,6	0,547723	7,919913	9,280087	5
2	5,0	12,6	2,50998	9,483448	15,71655	5
3	5,5	10,4	1,516575	8,516923	12,28308	5
4	6,0	11,2	2,683282	7,868266	14,53173	5
5	6,5	11,6	2,19089	8,87965	14,32035	5
Com imersão (0,01")						
	Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N
1	4,5	10,8	0,83666	9,761149	11,83885	5
2	5,0	14,4	1,516575	12,51692	16,28308	5
3	5,5	12,4	1,516575	10,51692	14,28308	5
4	6,0	13,8	1,923538	11,41161	16,18839	5
5	6,5	15,6	1,81659	13,34441	17,85559	5

d) Relação Betume – Vazios

A Figura 35 apresenta as variações de RBV da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos à 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

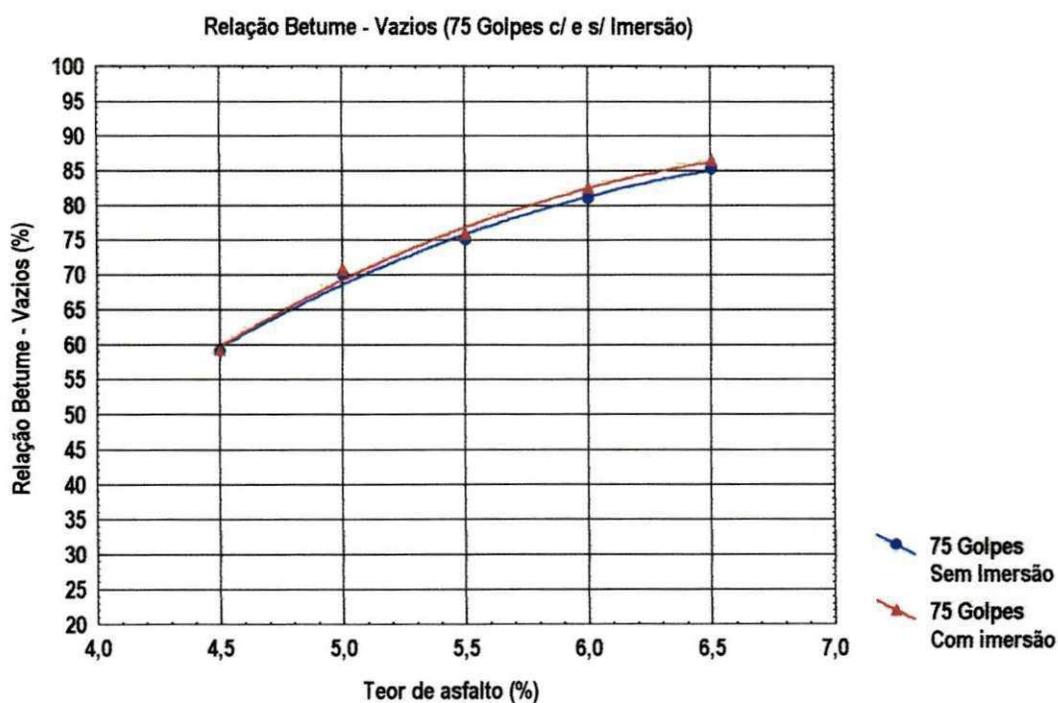


Figura 35 - RBV e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão

A Tabela 22 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medidas de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para a RBV da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos à 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

Tabela 22 – Estatísticas de RBV das misturas asfálticas (75 Golpes c/ e s/ imersão)

Sem imersão (%)						
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N	
1	4,5	59,08766	4,495416	53,50586	64,66946	5
2	5,0	69,93345	2,749733	66,51921	73,3477	5
3	5,5	75,06188	1,611978	73,06034	77,06341	5
4	6,0	81,03052	1,704665	78,9139	83,14714	5
5	6,5	85,3232	0,946596	84,14785	86,49856	5
Com imersão (%)						
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N	
1	4,5	59,1674	1,497907	57,3075	61,0273	5
2	5,0	70,58634	1,18016	69,12098	72,0517	5
3	5,5	75,79474	1,450098	73,9942	77,59527	5
4	6,0	82,42414	0,928966	81,27068	83,5776	5
5	6,5	86,39849	1,486617	84,55261	88,24437	5

Os valores de RBV dos corpos de prova moldados para a realização dos ensaios Marshall, não apresentaram diferenças estatísticas significativas com relação a este parâmetro. Isto permite afirmar que a análise dos resultados sobre os parâmetros obtidos após esta fase deverá ser feita, exclusivamente, devido a modificações ou etapas de ensaios subseqüentes a esta.

O método de ensaio do DNER ME 43-64 sugere que sejam observado os limites, máximo e mínimo, de $75 \leq RBV \leq 82$, para a aceitação da relação betume-vazios. Ao observar a figura 36, verificou-se que os valores dos corpos de prova para 75 golpes com e sem imersão, apresentaram valores dentro da norma, onde praticamente não houve nenhuma diferença entre os corpos de prova com e sem imersão.

e) Volume de Vazios

A Figura 36 apresenta as variações de Volume de Vazios da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos a 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

A Tabela 23 apresenta as estatísticas: medida de tendência central, medidas de dispersão e intervalos de confiança ($\alpha = 5\%$) para o volume de vazios da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos à 75 golpes com e sem imersão em banho Maria.

Os valores de Volume de Vazios dos corpos de prova moldados para a realização dos ensaios Marshall, não apresentaram diferenças estatísticas significativas com relação a este parâmetro. Isto permite afirmar que a análise dos resultados sobre os parâmetros obtidos após esta fase deverá ser feita, exclusivamente, devido a modificações ou etapas de ensaios subseqüentes a esta.

Os limites máximo e mínimo de vazios exigido pelo DNER ME 43-64 são de 3% e 5% respectivamente. Observa-se que para os corpos de 75 golpes com e sem imersão, apresentaram valores dentro da norma, onde praticamente não houve nenhuma diferença entre os corpos de prova com e sem imersão.

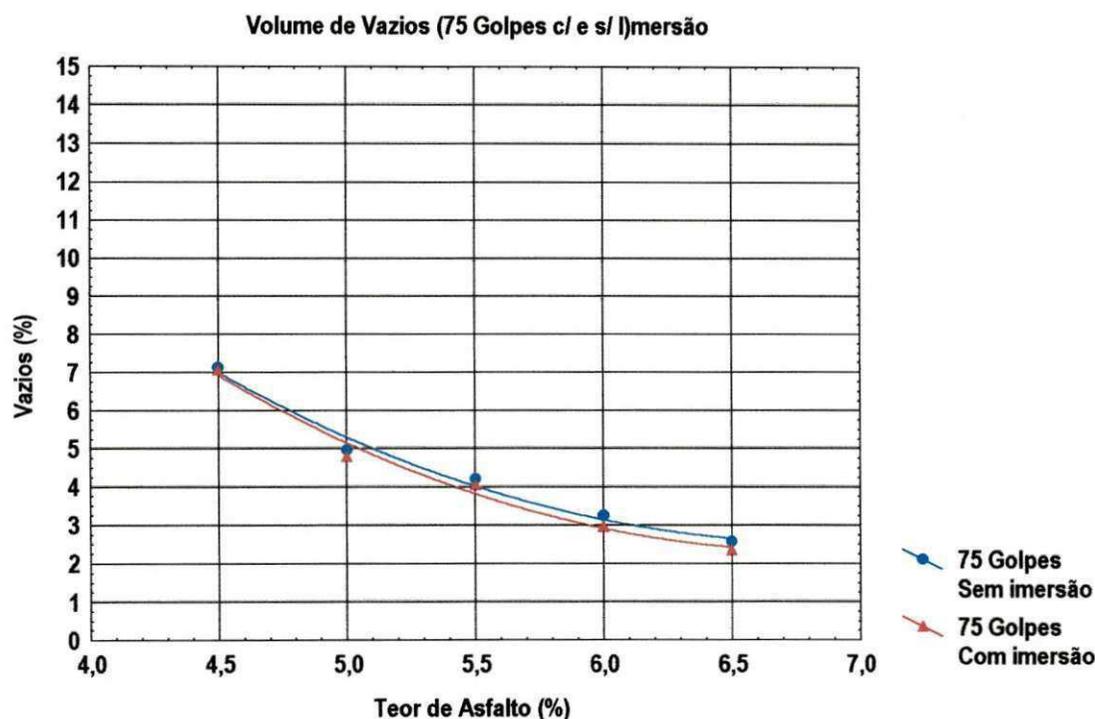


Figura 36 Volume de Vazios e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 Golpes c/ e s/ Imersão

Tabela 23 Estatísticas de volume de vazios das misturas asfálticas (75 Golpes c/ e s/ imersão)

Sem imersão (%)						
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N	
1	4,5	7,149135	1,162502	5,705699	8,592572	5
2	5,0	4,981779	0,593714	4,244585	5,718972	5
3	5,5	4,227696	0,351846	3,790822	4,66457	5
4	6,0	3,259323	0,352161	2,822057	3,696589	5
5	6,5	2,590547	0,19044	2,354084	2,82701	5
Com imersão (%)						
Teor	Média	Desvio (-)	-95,00%	95,00%	N	
1	4,5	7,07587	0,410839	6,565746	7,585994	5
2	5,0	4,823724	0,263527	4,496511	5,150936	5
3	5,5	4,069543	0,308854	3,68605	4,453036	5
4	6,0	2,974351	0,185053	2,744577	3,204125	5
5	6,5	2,378153	0,29393	2,013191	2,743115	5

A Figura 37 resume as variações da Estabilidade Marshall da mistura asfáltica para corpos de prova submetidos a 75 e 50 golpes com e sem imersão em banho Maria.

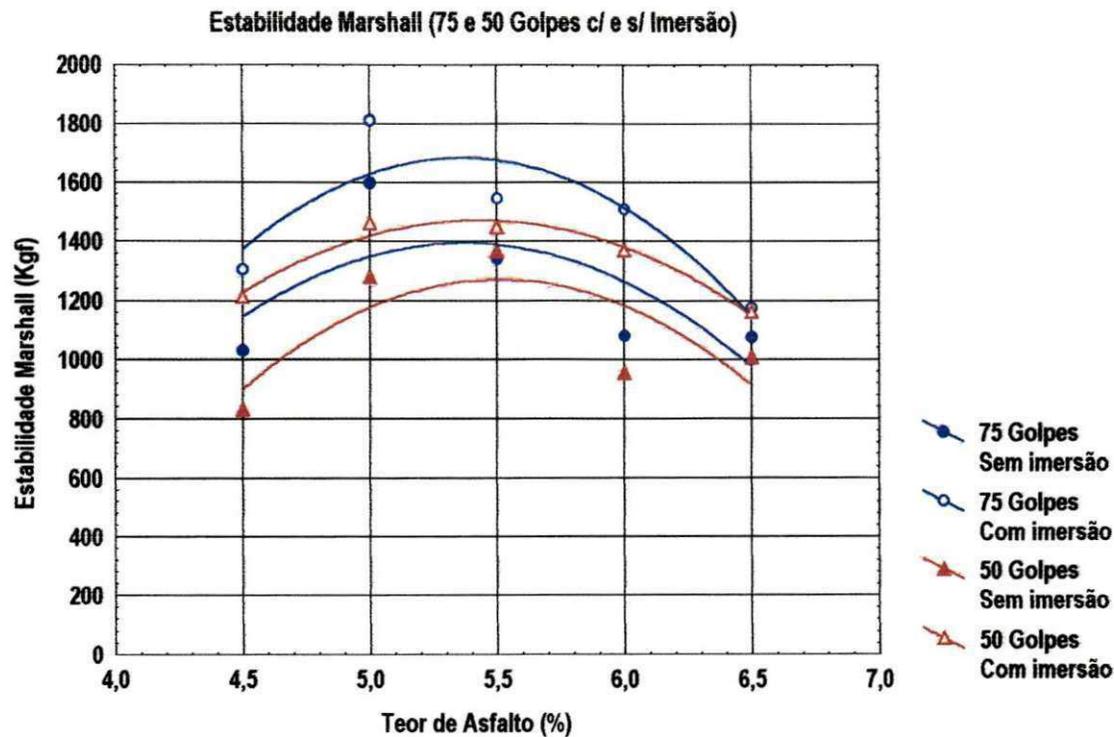


Figura 37 - Estabilidade Marshall e o Teor de Asfalto (6 % "Filler" Resíduo) 75 e 50 Golpes c/ e s/ Imersão

Os valores de estabilidade das misturas asfálticas, para 50 e 75 golpes, apresentaram as mesmas tendências, ou seja, incremento da estabilidade com o aumento na quantidade de ligante atingindo um valor máximo, onde a partir do qual ocorre um decréscimo. A estabilidade mínima exigida, pelos métodos de ensaio DNER- ME 43/95 e NBR 12891/1993, para 50 e 75 golpes, é de 250 e de 350 kgf respectivamente. Para ambos os ensaios esses valores foram superados com e sem imersão. Ocorreram incrementos no parâmetro Estabilidade, referentes aos teores de CAP, quando os corpos de prova foram submetidos à imersão em banho Maria (Figura 37).

4.2.5 – Ensaio de Penetração

A Figura 38 e a Figura 39 apresentam as variações do valor de penetração (100g, 5 Seg. 0,1 mm) para mistura CAP com os “Filler”es CAL, Cimento Portland e Resíduo em função da variação em relação ao volume de CAP sobre amostra e total para o ensaio e sobre amostra utilizada na execução do ensaio (Norma DNER – ME 003/99).

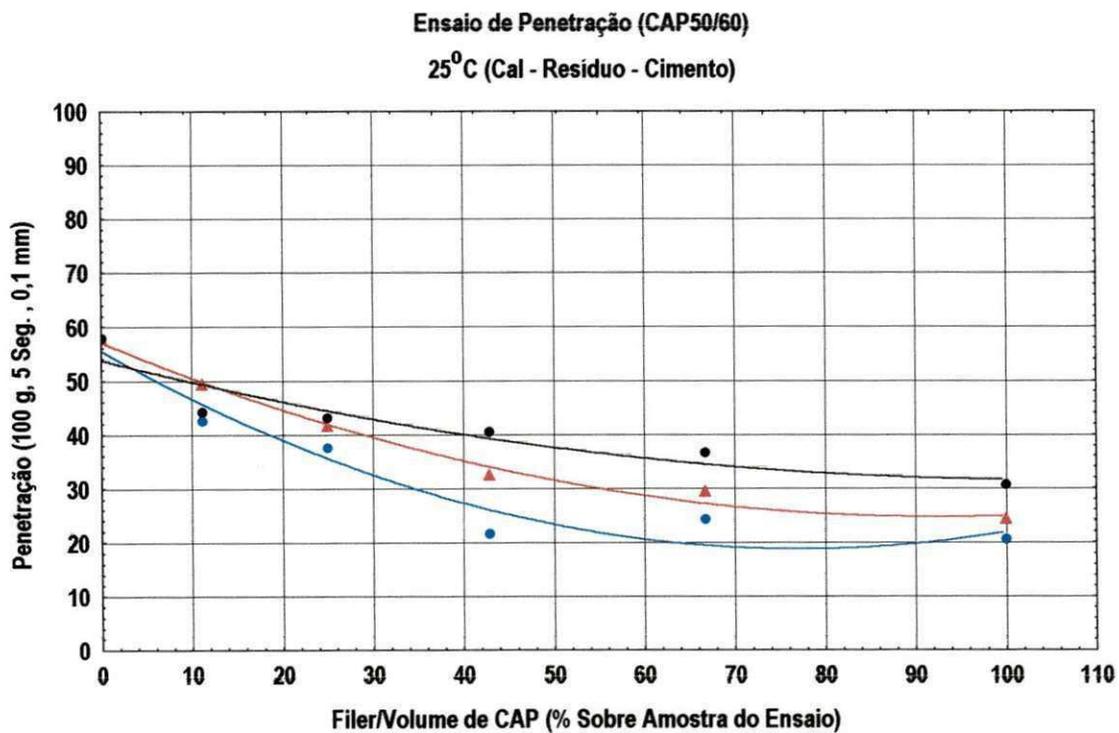


Figura 38 - Penetração para mistura CAP50/60 com os ““Filler”es CAL, Cimento Portland e Resíduo em função do incremento da relação “Filler”/CAP50/60 sobre amostra do ensaio

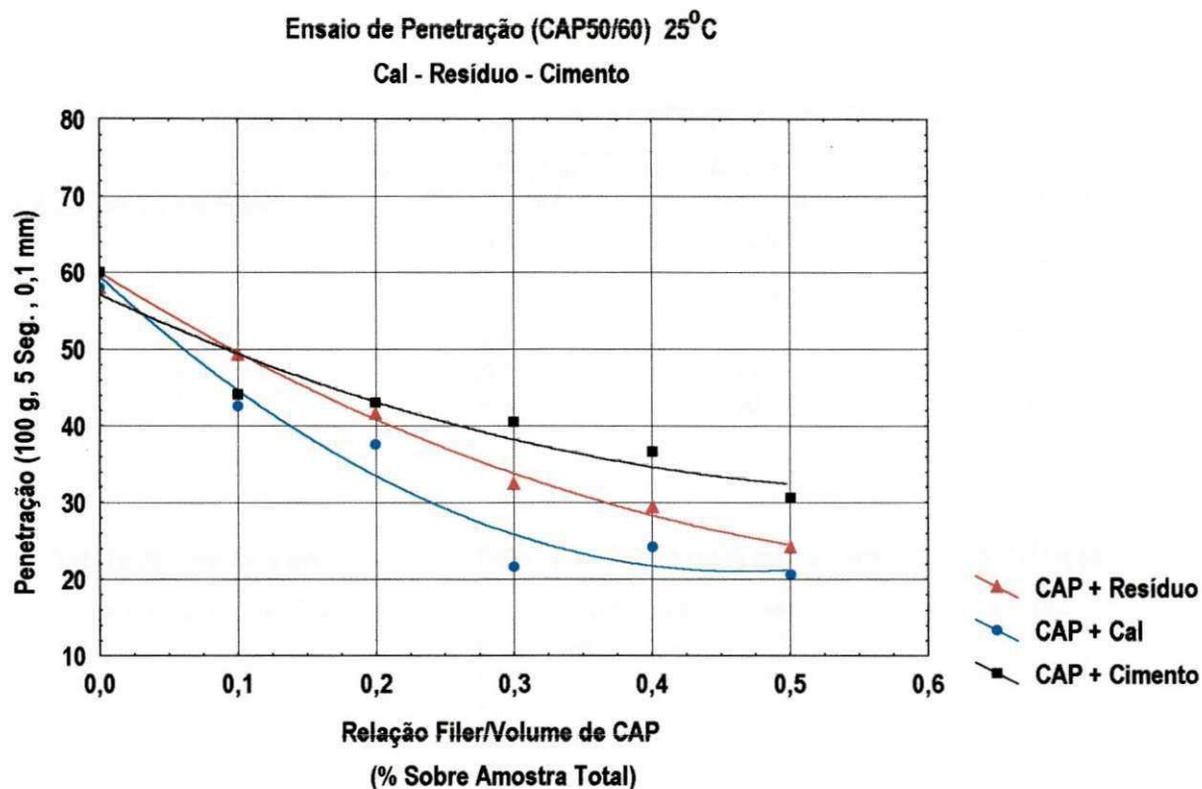


Figura 39 – Penetração para mistura CAP50/60 com os ““Filler”es CAL, Cimento Portland e Resíduo em função do incremento da relação “Filler”/CAP50/60 sobre amostra total do ensaio

A Tabela 24, a Tabela 25 e a Tabela 26 apresentam as equações, os valores de penetração e Pesos e percentuais de “Filler”es e CAP resultados dos ensaios de penetração.

Tabela 24 – Equações obtidas para estimativa da penetração em função da quantidade de “filler”

EQUAÇÕES
CAP + Cimento:
$Y_{\text{Cimento}} = 55,66 - 0,952.x + 0,006.x^2$
CAP + Resíduo:
$Y_{\text{Resíduo}} = 57,23 - 0,702.x + 0,004.x^2$
CAP + Cal:
$Y_{\text{Cal}} = 53,808 - 0,425.x + 0,002.x^2$

Tabela 25 – Penetração para mistura CAP50/60 com os “Filler”es

Relação em Volume “Filler”/CAP	Penetração (100gr, 5seg., 0,1”mm - CAP 50/60)		
	CAP + Resíduo	CAP + Cal	CAP + Cimento
0,0	58,0	58,0	58,0
0,1	49,5	42,7	44,2
0,2	41,7	37,6	43,1
0,3	32,5	21,7	40,5
0,4	29,5	24,3	36,6
0,5	24,3	20,7	30,6

Tabela 26 – Pesos e percentuais de “Filler” e CAP para realização de ensaios de penetração

Relação em Volume “Filler”/CAP	CAP	Resíduo	Cal	Cimento	Sobre Amostra (%)
	(g)	(g)	(g)	(g)	
0,0	40	0	0	0	0,00
0,1	36	4	4	4	11,11
0,2	32	8	8	8	25,00
0,3	28	12	12	12	42,86
0,4	24	16	16	16	66,67
0,5	20	20	20	20	100,00

Ensaio de Penetração (CAP 70) 25 °C

Limestone Dust - Kaolin Clay - Fuller's Earth

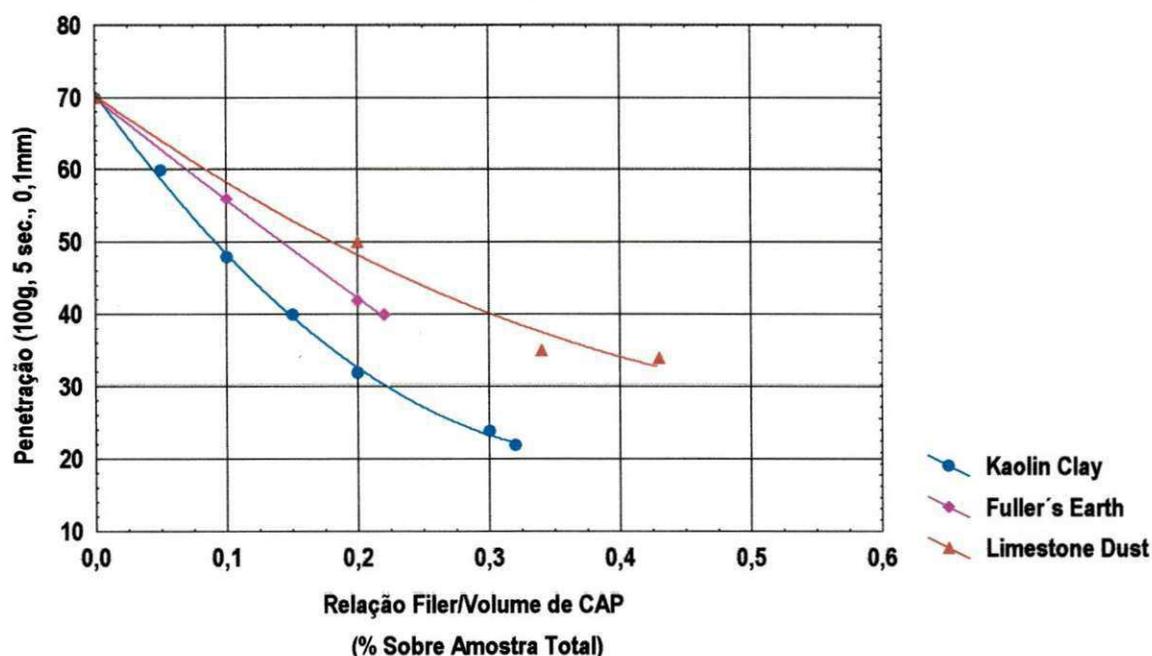


Figura 40 - Penetração para mistura CAP70 com os “Filler”es Kaolin Clay, Fuller's Earth e Limestone Dust em função do incremento da relação “Filler”/CAP70 (PUZINAUSKAS, 1983) sobre amostra total para o ensaio

Os valores de penetração das misturas ensaiadas (CAP+ "Filler") apresentaram tendências decrescentes segundo um modelo polinomial quadrático. Essas tendências, observadas também por PUZINAUSKAS (1983), indicam que o incremento de "Filler" causa uma diminuição de penetração, o que é interpretado pelo autor como sendo um aumento na sua viscosidade (Figura 40).

As inferências acima descritas indicam que o valor máximo de "Filler" em um CBUQ deve ser estimado, não apenas pelos parâmetros obtidos a partir do ensaio Marshall, e sim em conjunto com uma análise mais específica sobre o efeito do "Filler" nas propriedades de rigidez do CAP (Tabela 27).

Tabela 27 – Pesos e percentuais de agregados, "Filler" e CAP correspondentes ao teor ótimo de asfalto a partir do ensaio Marshall

Planilha de Cálculo de Materiais	(%)	(g)
Agregado Graúdo	42,50	510,00
Agregado Miúdo	47,25	567,00
"Filler"	5,600	68,00
Teor de Ligante	5,500	66,00
Total	100,00	1211,00

Verificando os percentuais obtidos para as três misturas é possível obter equações para estimativa do valor máximo de "Filler" na composição do traço de CBUQ em função, de não apenas o percentual que passa na peneira 200, mais também, da variável percentual de "Filler" versus diminuição da penetração ou aumento da viscosidade medida indiretamente por este ensaio.

4.2.6 - Viscosidade Saybolt Furol

A Figura 41 apresenta as curvas resultantes do ensaio de viscosidade Saybolt Furol para mistura CAP com os "Filler"es CAL, Cimento Portland e Resíduo em função da variação em relação ao volume de CAP (ABNT – IBP/P-MB-517).

A Tabela 28 e a Tabela 29 apresentam os resultados do ensaio de Viscosidade Saybolt Furol para mistura CAP com os "Filler"es CAL, Cimento Portland e Resíduo em função da variação em relação ao volume de CAP para amostra total sugerida pela norma e para amostra ensaiada (ABNT – IBP/P-MB-517).

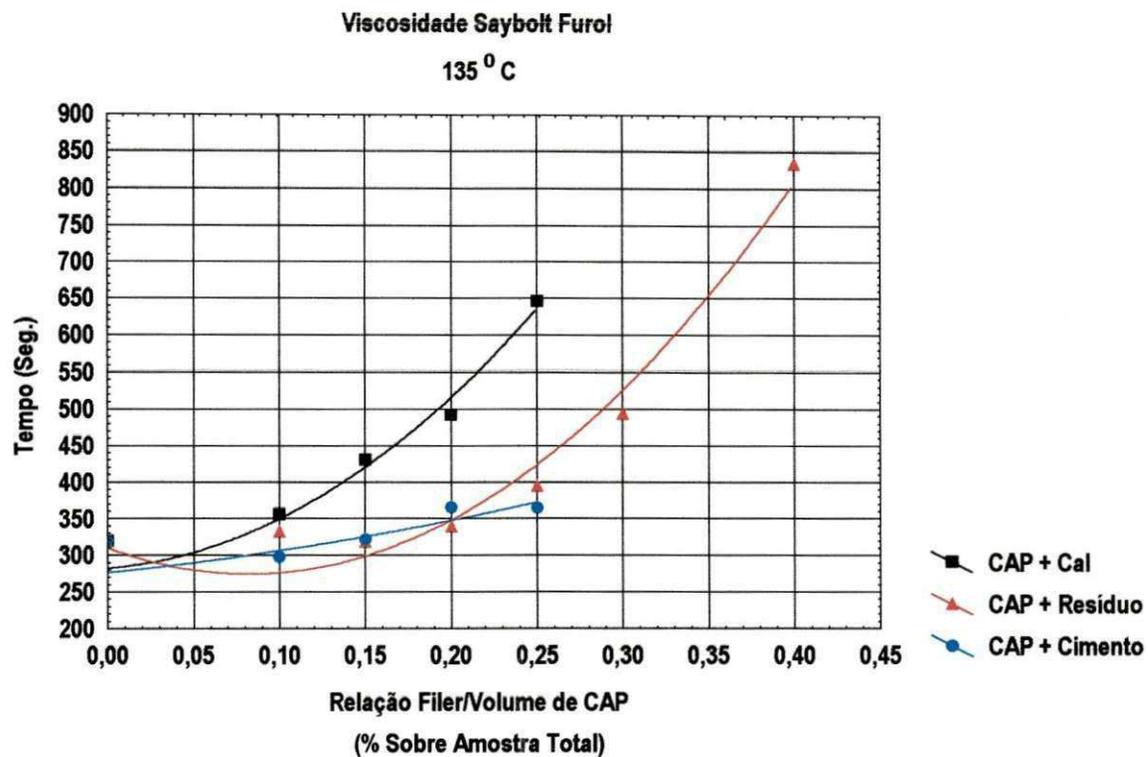


Figura 41 –Viscosidade Saybolt Furol para o CAP50/60 com os “Filer”es Cal, Cimento Portland e Residuo em função do incremento da relação “Filer”/CAP50/60 sobre amostra total do ensaio

Tabela 28 –Viscosidade Saybolt furol para mistura CAP50/60 com os “Filler”es

Viscosidade Saybolt Furol (135°C, seg. - 280 seg)			
Relação em Volume “Filler”/CAP	CAP + Cimento	CAP + Resíduo	CAP + Cal
0,0	280,0	280,0	280,0
0,10	356,0	333,5	299,5
0,15	431,0	319,0	323,0
0,20	492,0	340,0	366,0
0,25	647,0	395,5	365,5
0,30	-	495,0	-
0,40	-	834,5	-

Tabela 29 - Pesos e percentuais de “Filler” e CAP para realização de ensaios de Viscosidade Saybolt furol

Relação em Volume “Filler”/CAP total	CAP (g)	Resíduo (g)	Cal (g)	Cimento (g)	Sobre Amostra de ensaio (%)
0,00	60	0	0	0	0,00
0,10	52	6	6	6	11,54
0,15	51	9	9	9	17,65
0,20	48	12	12	12	25,00
0,25	45	15	15	15	33,33
0,30	42	18	-	-	42,86
0,40	36	24	-	-	66,67

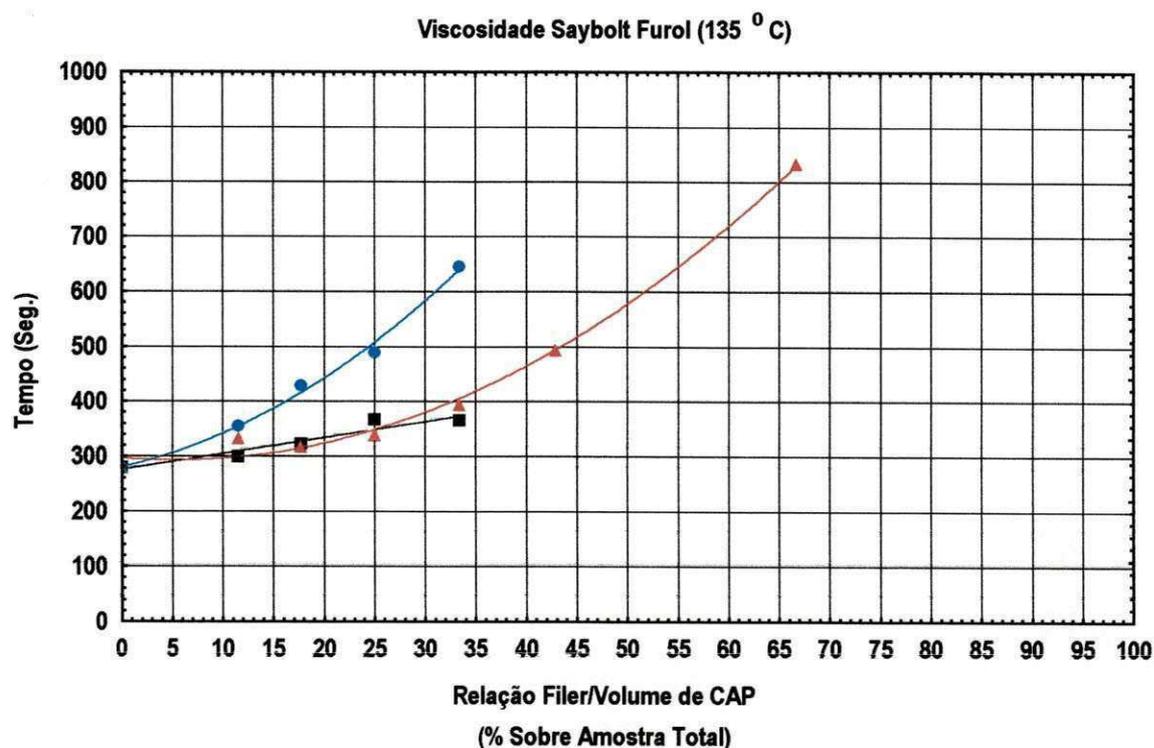


Figura 42 - Viscosidade Saybolt Furol para o CAP50/60 com os “Filler”es Cal, Cimento Portland e Resíduo em função do incremento da relação “Filler”/CAP50/60 sobre amostra do ensaio

Tabela 30 - Equações obtidas para estimativa da viscosidade Saybolt furol em função da quantidade de "filler"

EQUAÇÕES	
CAP + Cal:	
Y_{Cal}	$= 275,952 + 2,889.x + 0,0006584.x^2$
CAP + Resíduo:	
$Y_{\text{Resíduo}}$	$= 297,707 - 1,454.x + 0,142.x^2$
CAP + Cimento:	
Y_{Cimento}	$= 281,776 + 4,185.x + 0,198.x^2$

Os valores de Viscosidade Saybolt Furol das misturas ensaiadas (CAP+ "Filler") apresentaram tendências Crescentes segundo um modelo polinomial quadrático (Figura 42). PUZINAUSKAS (1983) observou estes mesmos incrementos para viscosidade Cinemática. Essas tendências indicam que o incremento de "Filler" causa um aumento nas propriedades de rigidez do CAP (Figura 43).

Verificando os percentuais obtidos para as três misturas é possível obter equações para estimativa do valor máximo de "Filler" na composição do traço de CBUQ em função, de não apenas o percentual que passa na peneira 200, mais também, da variável percentual de "Filler" versus aumento da Viscosidade Saybolt Furol.

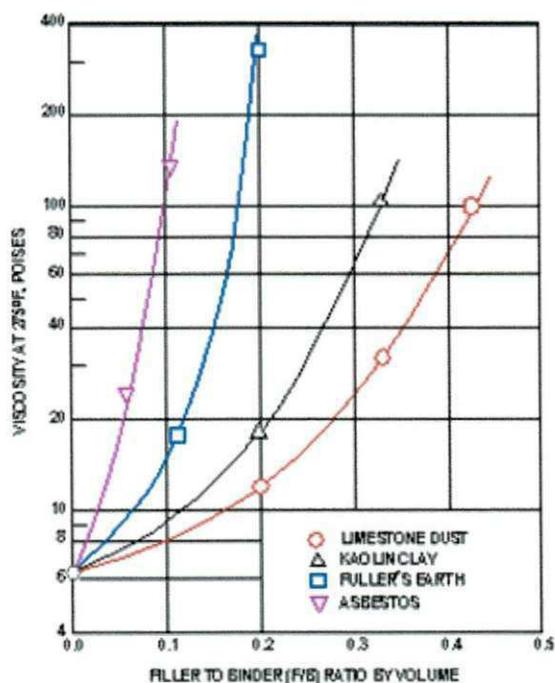


Figura 43 - Viscosidade Cinemática para o CAP 70 (6 Poises) em função do incremento da relação em volume de "Filler"/CAP70 (PUZINAUSKAS, 1983)

As inferências acima descritas indicam que o valor máximo de "Filler" em um CBUQ deve ser estimado, não apenas pelos parâmetros obtidos a partir do ensaio Marshall, e sim em conjunto com uma análise mais específica sobre o efeito do "Filler" nas propriedades de rigidez do CAP.

Constata-se neste estudo que o "Filler", ao ser misturado ao CAP, exerce influência na rigidez da mistura asfáltica e, a luz dos dados aqui observados, confirma-se estudos realizados para outros "Filler"es a exemplo o que foi observado e descrito por PUZINAUSKAS (1983). "... parâmetros de ensaios de asfalto como ductilidade, penetração e viscosidade - variam drasticamente com os níveis do mineral "Filler", os quais se encontram em concentração consideravelmente abaixo que comumente usado nas misturas de pavimentação. A adição de "Filler" ao CAP transforma-o em um "CAP" que pode ser considerado como um CAP de uma consistência mais alta"

CAPÍTULO 5

5.1 – CONCLUSÕES

Apresentam-se, neste trabalho, os resultados de uma pesquisa que teve como objetivo determinar a utilização do resíduo proveniente da serragem de granito como "Filler" no CBUQ.

O resíduo da serragem de granito é um material que armazenado de maneira irregular, o qual prejudica o meio ambiente através da contaminação de rios, solos e com isso proporcionando uma desconfiguração da paisagem. Hoje, são investidos recursos em reaproveitamento desse material na construção civil, em especial na área da pavimentação.

Observou-se, que o resíduo ao ser incorporado ao CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente), obteve-se uma mistura asfáltica com um comportamento, quando observado o comportamento deste material em relação aos demais "Filler"es usado convencionalmente como a cal e o cimento Portland, onde o melhor material que se obteve uma maior estabilidade foi a cal, seguida do resíduo e pelo cimento.

Em nosso estudo, os valores de estabilidade das misturas asfálticas, para 50 e 75 golpes, com e sem imersão, apresentaram as mesmas tendências, ou seja, incremento da estabilidade com o aumento na quantidade de ligante atingindo um valor máximo, onde a partir do qual ocorre um decréscimo.

A estabilidade mínima exigida, pelos métodos de ensaio DNER- ME 43/95 e NBR 12891/1993, para 50 e 75 golpes, é de 250 e de 350 kgf respectivamente. Para ambos os ensaios esses valores foram superados com e sem imersão. Ocorreram incrementos maiores no parâmetro Estabilidade, referentes aos teores de CAP, quando os corpos de prova foram submetidos à imersão em banho Maria.

Os valores de penetração das misturas ensaiadas (CAP+ "Filler"es) apresentaram tendências decrescentes segundo um modelo polinomial quadrático. Essas tendências indicam que o incremento de "Filler" causa uma diminuição de penetração, o que pode ser uma indicação de aumento na sua viscosidade.

Os valores de Viscosidade Saybolt Furol das misturas ensaiadas (CAP+ "Filler"es) apresentaram tendências Crescentes segundo um modelo polinomial quadrático. Essas tendências indicam que o incremento de "Filler" causa um aumento nas propriedades de rigidez do CAP.

Para as três misturas de "Filler"es com o CAP são possíveis obter equações para estimativa do valor máximo de "Filler" na composição do traço de CBUQ em função, de não apenas o percentual que passa na peneira 200 (0,074mm), mais também, da variável percentual de "Filler" versus aumento da Viscosidade Saybolt Furol.

Constata-se neste estudo que o "Filler", ao ser misturado ao CAP, exerce influência significativa na rigidez da mistura asfáltica e que a adição de "Filler" transforma-o em um CAP de uma consistência mais alta".

Vale ressaltar que o resíduo de serragem de granito teve um comportamento, quando associado ao CAP, menos atuante que a Cal e mais atuante que o Cimento Portland. Em outras palavras, o "Filler" Resíduo apresentou uma interação com o CAP razoável, melhorando a sua estabilidade, sem no entanto, torná-lo tão rígido quanto a Cal o fez.

5.2 - SUGESTÕES

A pesquisa realizada utilizando o resíduo da serragem de granito, como "Filler" nas misturas asfálticas, deve ser visto como um estudo inicial para outras pesquisas que envolvam o aperfeiçoamento das atividades propostas. Com isso, sugere-se:

Realizar um estudo sobre os impactos ambientais na região, provocados pela deposição de rejeito da serragem de forma irregular, e quais as conseqüências que este material venha a afetar o meio – ambiente de uma forma global;

Verificar o comportamento das misturas asfálticas utilizando o "Filler" como resíduo, através da realização de ensaios SUPERPAVE;

Realizar ensaios de ductilidade, viscosidade cinemática, ponto de fulgor e ponto de amolecimento utilizando como "Filler" o resíduo da serragem de granito nas misturas asfálticas;

Executar e observar o comportamento de um trecho experimental utilizando como "Filler" o resíduo;

CAPÍTULO 6

6.1 - REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1971), ABNT/IBP P-MB- 517 – Determinação da Viscosidade Saybolt-Furoil de Materiais Betuminosos a Alta Temperatura

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000), ABNT NBR-6560 – Determinação do Ponto de Amolecimento de Materiais Betuminosos – Método do anel e bola

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1993), ABNT NBR – 12891- Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987), ABNT NBR – 10004- Resíduos Sólidos

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987), ABNT NBR – 10005- Lixiviação de resíduos

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987), ABNT NBR – 10006- Solubilização de resíduos

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987), ABNT NBR – 10007- Amostragem de resíduos

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1972), ABNT/MB -- 164/NBR 6560 – Determinação do ponto de amolecimento de materiais betuminosos – Método do anel e bola

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1992). Interim method of test for resilient modulus of granular base/sub-base materials and sub-grade soils SHRP protocol P46. AASHTO designation T 294-92I.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (1993). U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration National Highway Institute. Design procedure for new pavements -A training Course - Participant's manual. ERES - Consultants 1. Ed. Washington, D.C.

ARAÚJO, EUZÉBIO SOARES DE (2002), Utilização dos resíduos da serragem do granito na produção de tijolos sílica-cal para uso na construção civil –Campina Grande. 108p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba.

BARKSDALE, R.D. (1975). Compressive stress pulse times in flexible pavements for use in dynamic testing dynamic testing. Transportation Research Record, n.537, pp. 32-44

BERNUCCI, LIEDI BARIANI e Outros (1996), Estudo para a Formação de CBUQ Considerando a Deformação Permanente para as Rodovias da Rede Dersa, 30ª REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, Salvador - Bahia, v. I p. 18.

BUZATI, Dauro José (2000), A Cal Usada como "Filler" no CBUQ Enfoque Mecânico e de Custo, Belo Horizonte – MG.

BY V.P. PUZINAUSKAS (1983). "Filler" in asphalt mixtures. USA, Asphalt Institute.

COELHO, VLADIMIR; QUEIROZ; RUDNEY C. Análise Crítica do Método Marshall, IBP – Instituto Brasileiro de Petróleo, 11º Encontro de Asfalto, 1992.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, Pesquisa realizada pelo site www.hidricos.mg.gov.br/extrsul/vol_vi/item181.htm no dia 20/05/02.

CORPS OF ENGINEERS. DEPARTMENT OF THE ARMY. Investigation of the design and control of asphalt paving mixtures technical memorandum N.º 3 -254. Vicksburg, Mississippi, EUA, 1998.3v apud IBPV,1992.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM (1999), DNER – ME 003/99 – Material betuminoso – determinação da penetração.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADA DE RODAGEM (1995), DNER – ME 084/95 – Agregado miúdo – determinação de densidade real.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, 11º Encontro de Asfalto , Rio de Janeiro, 1992.

KANDAL, P.S. & KOEHLER, Marshall mix design method: current practices. Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists, vol.54: 284-302, 1985 apud IBPV , 1992.

MOMM, LETO; DOMINGUES, ARANHA AUGUSTO FELIPE, Efeitos da graduação dos agregados nas misturas asfálticas. In: 31ª Reunião Anual de Pavimentação, São Paulo – SP v.1.

MOTTA, L.M.G.; PINTO SALOMÃO, O uso de ensaios estáticos na definição de parâmetros de comportamento das misturas asfálticas. IBP (Instituto Brasileiro de Asfalto). In: 12º Encontro de Asfalto, Rio de Janeiro – RJ, 1994.

MACÊDO, JOSÉ AFONSO GONÇALVES (1989), Estudo Comparativo das Características Físicas e Mecânicas de Agregados Graúdos Convencionais e não Convencionais Visando sua Aplicação em Concreto Betuminoso Usinado a Quente. Campina Grande, 217p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba.

McGENNIS, Mr. R. B.; ANDERSON, Mr. R. M.; KENNEDY, T. W.; SOLAIMANIAN, M.; Princípios do projeto e análise suparpave de misturas asfálticas. Trad. por Leni F. Mathias Leite. Rio de Janeiro, 1996.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1994), The suparpave mix design of specifications test methods, and practices. Washington.

NEVES, G. A. (2002). Reciclagem de resíduos da serragem de granitos para uso como matéria prima cerâmica. Campina Grande. 256p. Tese (Doutorado) Universidade Federal da Paraíba.

ODA, SANDRA (2000). Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação. São Carlos. 251p. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos – USP.

PREUSSLER, E.S. (1983). Estudo da deformação resiliente de pavimentos flexíveis e aplicação ao projeto de camadas de reforço. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ROBERT, F. L., KANDHAL, P. S. & BROWN, E. R. (1996), Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, Seond Edition, NAPA Education Foundation lanham, Maryland.

PRINCÍPIOS do projeto e análise suparpave de misturas asfálticas, Petrobrás.

SANTANA, HUMBERTO (1993). Manual de Pré-Misturado a Frio. IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo) , Comissão de Asfalto, 1ª Edição, Rio de Janeiro.

SANTANA, HUMBERTO (1995). Considerações Sobre os Nebulosos Conceitos e Definição de "Filler" em Misturas Asfálticas. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação, Cuiabá – Mato Grosso, 1995 vol.1

SOUZA, JOSELITO NOVAES de (2001), Utilização do Resíduo da Serragem de Rochas Graníticas como "Filler" no Concreto Asfáltico Usinado a Quente – Campina Grande. 107P. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Paraíba.

SILVA, S.A (1998). Caracterização do resíduo da serragem de blocos de granitos. Estudo do potencial de aplicação na fabricação de argamassas e assentamento e de tijolos de solo-cimento. Vitória, 159p. Dissertação de (Mestrado), Universidade Federal do Espírito Santo.

VALE, EDUARDO, Mercado internacional de rochas ornamentais. v.4. Fortaleza, Gráfica VT.

6.2 - ANEXOS

ANEXOS

Constam nos anexos 1 e 2 as planilhas relativas aos ensaio de sedimentação do filer cal, cimento e resíduo, onde estes resultados foram utilizados no presente trabalho:

Anexo 1: Planilhas de ensaios de caracterização dos materiais do filer cal, cimento e resíduo de serragem de granito

Anexo 2 : Planilhas de ensaios de misturas de materiais ensaios Marshall 50 golpes com e sem imersão, 75 golpes com e sem imersão, ensaios de Penetração e ensaio de Viscosidade Saybolt Furol.

Anexo 1

Constam neste anexo as planilhas de ensaios de caracterização dos materiais:

Planilha 1 – Caracterização do filer cal;

Planilha 2 – Caracterização do filer cimento;

Planilha 3 – Caracterização do filer resíduo;

Estes resultados foram obtidos a partir da realização de ensaios de caracterização dos materiais no laboratório de Solos II da Universidade Federal de Campina Grande.

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO		
NBR - 7181/64 UFPB - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº 01		
INTERESSADO:			RODOVIA:			TRECHO:			
FURO:		CAL:		LADO:		ESTACA:			
PROFUNDIDADE:				OPERAÇÃO:		CÁLCULO:			
ENCARREGADO:				VISTO:		DATA:			
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA							RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)		
Cap	Pch	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-05	28,73	28,71	7,69	21,02	0,02	0,10	Areia Média (0,84 a 0,25)		
DADOS					h_{meda}	0,16	Areia Fina (0,25 a 0,05)		
Ms - Massa Total da Amostra Seca					993,42		Silte + Argila (< 0,05)		
Ml - Massa da Amostra Seca ao Ar					1000,00		Total:		
Mg - Massa do Material Seco, retida na 2,0					0,00		Retido entre 2,0 e 0,074:		
Mh - Massa Úmida do Material p/ Peneiramento Fino ou Sedimentação					30,00		Argila (< 0,005):		
							h_{hg} do mat. passa 2,00 mm		
N = % do Mat. que passa na de 2,00 mm					100,00		Mas Esp. dos Grãos do Solo (j):		
							2,48		
GRANULOMETRIA									
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL					PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL				
malha (mm)	Material Retido		% passa da amostra total (Gg)	malha (mm)	Material Retido		% passa da amostra total (Gg)		
	Massa(g)	M. (g)			Massa(g)	M. (g)			
50,0	0,00	0,00	100,00	1,2	0,00	0,00	100,00		
38,0	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	0,3	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	0,00	0,00	100,00						
Lavar na 2,0 mm			Sedimentação: g			Lavar na 0,074 mm #			
Cap. nº:	07	Proveta nº:	01	Cap. nº:	AG-08	Densímetro nº:	09/95	Cap. nº:	AG-13
SEDIMENTAÇÃO									
Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	Temperat °C	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (Gs)	
23/04/2002	07:54:30	0,5	1,020	26	1,023	16,00	1,078	99,66	
23/04/2002	07:56	1,0	1,019	26	1,023	16,20	1,082	99,21	
23/04/2002	07:58	2,0	1,019	26	1,023	16,40	1,087	99,21	
23/04/2002	07:58	4,0	1,018	26	1,023	16,00	1,087	99,67	
23/04/2002	08:02	8,0	1,015						
23/04/2002	08:09	15,0	1,013						
23/04/2002	08:24	30,0	1,011						
23/04/2002	08:54	60,0	1,008						
23/04/2002	09:54	120,0	1,006						
23/04/2002	11:54	240,0	1,005						
23/04/2002	15:54	480,0	1,004						
24/04/1998	07:54:30	1440,0	1,003						

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
NBR - 7181/84 UFPB - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº 01	
INTERESSADO			RODOVIA			TRECHO:		
FURO			LADO:			ESTACA:		
PROFUNDIDADE			OPERAÇÃO			CALCULO:		
ENCARREGADO:			VISTO:			DATA:		
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)		
Cap.	Pch	Pes	Tara	Pes	Pa	n (%)	Pedregulho (> 4,8)	
AL-80	58,12	57,69	7,65	48,93	0,14	0,29	Areia Grossa (4,8 a 0,84)	
AL-25	57,5	57,51	7,27	50,23	0,06	0,14	Areia Média (0,84 a 0,25)	
DADOS						h_{meda}	0,27	
Ms - Massa Total da Amostra Seca						997,35	Silte + Argila (< 0,05)	
Mt - Massa da Amostra Seca ao Ar						1000,00	Total	
Mg - Massa do Material Seco, retida na 2,0						0,00	Retido entre 2,0 e 0,074	
Mh - Massa Úmida do Material p/ Peneiramento Fino ou Sedimentação						30,00	Argila (< 0,005)	
N = % do Mat. que passa na de 2,00 mm						100,00	h_{200} do mat. passa: 2,00 mm: 0,27	
Mas Esp. dos Grãos do Solo():						3,08		
GRANULOMETRIA								
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL				PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL				
malha (mm)	Material Retido		% passa da amostra total (Qp)	malha (mm)	Material Retido		% passando da amostra total (Qp)	
	Massa (g)	Mt (g)			Massa(g)	Mt (g)		
50,0	0,00	0,00	100,00	1,2	0,00	0,00	100,00	
38,0	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	0,3	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	0,00	0,00	100,00					
Lavar na 2,0 mm		Sedimentação: g			Lavar na 0,074 mm #			
Cap. nº: 07	Proveta nº: 01		Cap. nº: AG-08	Densímetro nº: 3395		Cap. nº: AG-13		
SEDIMENTAÇÃO								
Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	Temperat. °C	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (Qs)
23/04/2002	07:54:53	0,5	1,028	25	1,0273	15,15	0,051	87,60
23/04/2002	07:55	1,0	1,019	25	1,0223	15,20	0,043	82,65
23/04/2002	07:56	2,0	1,019	25	1,0223	15,40	0,031	82,65
23/04/2002	07:58	4,0	1,018	25	1,0225	15,80	0,022	77,70
23/04/2002	08:02	8,0	1,015					
23/04/2002	08:09	15,0	1,013					
23/04/2002	08:24	30,0	1,011					
23/04/2002	08:54	60,0	1,008					
23/04/2002	09:54	120,0	1,008					
23/04/2002	11:54	240,0	1,005					
23/04/2002	15:54	480,0	1,004					
24/04/1999	07:54:53	1440,0	1,003					

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO	
NBR - 7181/84 UFPB - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº 01	
INTERESSADO:		RODOVIA:		TRECHO:				
FURO:	RESÍDUO:	LADO:		ESTACA:				
PROFUNDIDADE:		OPERAÇÃO:		CÁLCULO:				
ENCARREGADO:		VISTO:		DATA:				
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)		
Cap.	Poh	Pbs	Tare	Pss	Pa	h (%)	Pedregulho (> 4,8):	
A1-07	41,41	41,34	14,64	26,70	0,07	0,26	Areia Grossa (4,8 a 0,64):	
A1-32	42,75	42,58	14,21	28,47	0,07	0,26	Areia Média (0,64 a 0,25):	
DADOS						h_{media}	0,25	
Ms - Massa Total da Amostra Seca						997,47	Silt + Argila (< 0,05):	
Mt - Massa da Amostra Seca ao Ar						1000,00	Total:	
Mg - Massa do Material Seco, retida na 2,0						0,00	Retido entre 2,0 e 0,074:	
Mh - Massa Úmida do Material p/ Peneiramento Fino ou Sedimentação						30,00	Argila (< 0,005):	
N = % do Mat. que passa na de 2,00 mm						100,00	h_{hg} do mat. passa 2,00 mm: 0,28	
							Mass Esp. dos Grãos do Solo(): 2,69	
GRANULOMETRIA								
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL				PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL				
malha (mm)	Material Retido		% passa da amostra total (Qc)	malha (mm)	Material Retido		% passando da amostra total (Qc)	
	Massa(g)	M _r (g)			Massa(g)	M _r (g)		
50,0	0,00	0,00	100,00	12	0,00	0,00	100,00	
38,0	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	0,3	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	0,00	0,00	100,00					
Lavar na 2,0 mm		Sedimentação: g		Lavar na 0,074 mm		#		
Cáp. nº:	07	Proveta nº:	01	Cáp. nº:	AG-08	Densímetro nº:	09/95	
						Cáp. nº: AG-13		
SEDIMENTAÇÃO								
Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	Temperat. °C	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (Qc)
22/04/2002	07:54:30	0,5	1,021	26	1,0023	14,60	1,0007	64,16
22/04/2002	07:55	1,0	1,019	26	1,0023	15,00	0,0048	68,88
22/04/2002	07:56	2,0	1,019	26	1,0023	15,00	0,004	68,88
22/04/2002	07:58	4,0	1,015	26	1,0023	14,40	0,023	68,61
22/04/2002	08:02	9,0	1,015	26	1,0023	15,00	0,017	67,55
22/04/2002	08:09	15,0	1,013	26	1,0023	15,00	0,013	66,82
22/04/2002	08:24	30,0	1,011	26	1,0023	16,00	0,009	46,28
22/04/2002	08:54	60,0	1,008	26	1,0023	16,50	0,006	60,32
22/04/2002	09:54	120,0	1,006	27	1,0022	17,20	0,005	20,21
22/04/2002	11:54	240,0	1,005	27	1,0022	17,40	0,003	14,89
22/04/2002	15:54	480,0	1,004	29	1,0021	17,60	0,002	10,11
24/04/1998	07:54:30	1440,0	1,003	26	1,0023	17,80	0,001	8,72

GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO E SEDIMENTAÇÃO							REGISTRO		
NBR - 7181/84 UFPB - CCT - DEC - LABORATÓRIO DE SOLOS II							Nº 02		
INTERESSADO:			RODOVIA:			TRECHO:			
FURO:		RESÍDUO:		LADO:		ESTACA:			
PROFUNDIDADE:			OPERAÇÃO:			CÁLCULO:			
ENCARREGADO:			VISTO:			DATA:			
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE HIGROSCÓPICA						RESUMO DA GRANULOMETRIA (%)			
Cap.	Pbh	Pbs	Tara	Pss	Pa	h (%)	Pedregulho (> 4,8):		
Al-07	41,41	41,34	14,64	26,70	0,07	0,26	Areia Grossa (4,8 a 0,84):		
Al-32	42,75	42,68	14,21	23,47	0,07	0,26	Areia Média (0,84 a 0,25):		
DADOS					h_{med}	0,25	Areia Fina (0,25 a 0,05):		
Ms - Massa Total da Amostra Seca					997,47		Silte + Argila (< 0,05):		
Ml - Massa da Amostra Seca ao Ar					1000,00		Total:		
Mg - Massa do Material Seco, retida na 2,0					0,00		Retido entre 2,0 e 0,074:		
Mh - Massa Úmida do Material p/ Peneiramento Fino ou Sedimentação					30,00		Argila (< 0,005):		
N = % do Mat. que passa na de 2,00 mm					100,00		h_{20} do mat. passa 2,00 mm: 0,25		
							Mas. Esp. dos Grãos do Solo(%): 2,69		
GRANULOMETRIA									
PENEIRAMENTO DA AMOSTRA TOTAL				PENEIRAMENTO DA AMOSTRA PARCIAL					
malha (mm)	Material Retido		% passa da amostra total (Qg)	malha (mm)	Material Retido		% passando da amostra total (Qf)		
	Massa(g)	Mi (g)			Massa(g)	Mi (g)			
50,0	0,00	0,00	100,00	1,2	0,00	0,00	100,00		
38,0	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	0,3	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	0,00	0,00	100,00						
Lavar na 2,0 mm			Sedimentação: g		Lavar na 0,074 mm #				
Cap. nº:	07	Proveta nº:	01	Cap. nº:	AG-08	Densímetro nº:	09/95	Cap. nº:	AG-13
SEDIMENTAÇÃO									
Data	Hora Observada	Tempo Decorrido	L	Temperat. °C	Ld	a	Diâmetro (mm)	Amostra Total (Qs)	
23/04/2002	07:54:30	0,5	1,020	25	1,0025	14,70	0,067	93,09	
23/04/2002	07:55	1,0	1,019	25	1,0025	14,90	0,047	87,77	
23/04/2002	07:56	2,0	1,018	25	1,0025	15,20	0,034	82,45	
23/04/2002	07:58	4,0	1,017	25	1,0025	14,60	0,023	77,13	
23/04/2002	08:02	8,0	1,016	25	1,0025	14,80	0,017	71,81	
23/04/2002	08:09	15,0	1,014	25	1,0025	15,30	0,012	61,17	
23/04/2002	08:24	30,0	1,012	25	1,0025	15,80	0,009	50,53	
23/04/2002	08:54	60,0	1,009	26	1,0024	16,40	0,006	35,11	
23/04/2002	09:54	120,0	1,007	26	1,0024	17,00	0,005	24,47	
23/04/2002	11:54	240,0	1,005	26	1,0024	17,40	0,003	13,83	
23/04/2002	15:54	480,0	1,004	28	1,002	17,60	0,002	10,64	
24/04/1998	07:54:30	1440,0	1,003	26	1,0019	17,80	0,001	5,85	

Anexo 2

Constam em anexo as planilhas dos ensaios de mistura de material que são os ensaios Marshall de 50 golpes com e sem imersão, 75 golpes com e sem imersão, ensaio de penetração e ensaio de viscosidade saybolt furol:

Estes resultados foram obtidos a partir da realização de ensaios de mistura dos materiais no laboratório de Solos II da Universidade Federal de Campina Grande.

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR de DE ASFALTO 4,5%) - 50G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

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.	TEOR	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	cm ³	df	-	-	-	100-FJ	100-J	IL*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	1*
1		4,5	6,48	1199,1	680,7	518,4	2,31	2,50	10,20	82,38	7,42	17,62	57,91	7,42	426	826,44	0,97	801,65	12
2		4,5	6,55	1221,9	685,5	536,4	2,28	2,50	10,05	81,13	8,82	18,87	53,25	8,82	408	791,52	0,95	751,94	11
3		4,5	6,67	1224,8	687,9	536,9	2,28	2,50	10,06	81,24	8,69	18,76	53,66	8,69	441	855,54	0,93	795,65	11
4		4,5	6,63	1206,7	679,5	527,1	2,29	2,50	10,10	81,53	8,37	18,47	54,69	8,37	414	803,2	0,93	746,94	11
5		4,5	6,50	1203,8	677,3	526,5	2,29	2,50	10,09	81,43	8,48	18,57	54,32	8,48	568	1101,9	0,96	1057,84	9
6		4,5	6,51	1194,9	674	520,9	2,29	2,50	10,12	81,70	8,18	18,30	55,29	8,18	661	1282,34	0,96	1231,05	8
7		4,5	6,49	1213,2	679,4	533,8	2,27	2,50	10,03	80,94	9,03	19,06	52,61	9,03	620	1202,80	0,96	1154,69	8
8		4,5	6,67	1230,5	694,8	535,7	2,30	2,50	10,13	81,81	8,06	18,19	55,70	8,06	696	1354,12	0,93	1259,33	10
9		4,5	6,55	1215,6	689,5	526,1	2,31	2,50	10,19	82,29	7,52	17,71	57,56	7,52	720	1396,8	0,95	1326,96	8
10		4,5	6,63	1218,2	687,8	530,4	2,30	2,50	10,13	81,80	8,07	18,20	55,66	8,07	588	1140,7	0,94	1072,28	13
M		4,50					2,29	2,50					55,06	8,26				1019,83	20,10

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR DE ASFALTO 5,0%) - 50G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

CORP O DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUENCIA
				NO AR	NA AGUA		APAR.	TEOR.	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	gf	-	-	-	100-J J	100-J	ML*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	100
1		5	6,42	1198	685	512,9	2,34	2,48	11,45	82,74	5,81	17,26	66,34	5,81	794	1540,36	0,98	1509,55	13
2		5	6,36	1187	679,3	507,2	2,34	2,48	11,47	82,88	5,66	17,12	66,97	5,66	648	1257,1	1	1257,12	12
3		5	6,36	1205	687,9	517,1	2,33	2,48	11,42	82,56	6,02	17,44	65,49	6,02	545	1057,3	1	1057,30	12
4		5	6,39	1213	695	517,7	2,34	2,48	11,48	82,99	5,53	17,01	67,50	5,53	685	1328,9	0,99	1315,61	12
5		5	6,41	1199	686,2	513,2	2,34	2,48	11,46	82,80	5,75	17,20	66,60	5,75	650	1261,0	0,98	1235,78	13
6		5	6,40	1210	692,7	517,5	2,34	2,48	11,46	82,85	5,69	17,15	66,84	5,69	868	1683,92	0,99	1667,08	13
7		5	6,27	1189	679,1	509,5	2,33	2,48	11,44	82,65	5,92	17,35	65,90	5,92	700	1358,0	1,02	1385,16	16
8		5	6,44	1208	690,6	517,5	2,33	2,48	11,44	82,71	5,85	17,29	66,17	5,85	760	1474,4	0,98	1444,91	13
9		5	6,64	1222	698,3	523,7	2,33	2,48	11,44	82,67	5,90	17,33	65,99	5,90	900	1746,0	0,93	1623,78	14
10		5	6,40	1197	682,4	514,6	2,33	2,48	11,40	82,41	6,19	17,59	64,81	6,19	610	1183,4	0,99	1171,57	15
M		5,00					2,34	2,48					66,26	5,83				1366,79	23,30

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESIDUO (TEOR DE ASFALTO 5,5%) - 50G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECIFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
				NO AR	NA AGUA		APAR.	TEOR.	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	gf	-	-	-	100-FJ	100-J	ML*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	f*
1		5,5	6,33	1207	692,2	514,4	2,35	2,46	12,65	82,66	4,69	17,34	72,96	4,69	766	1486,04	1	1486,04	15
2		5,5	6,28	1202	689,4	512,7	2,34	2,46	12,64	82,63	4,73	17,37	72,78	4,73	678	1315,3	1,02	1341,63	11
3		5,5	6,27	1202	689,9	512,0	2,35	2,46	12,66	82,73	4,61	17,27	73,28	4,61	695	1348,3	1,02	1375,27	8
4		5,5	6,31	1202	689,9	511,7	2,35	2,46	12,66	82,76	4,58	17,24	73,43	4,58	780	1513,2	1,01	1528,33	12
5		5,5	6,34	1211	694,8	516,3	2,35	2,46	12,65	82,67	4,69	17,33	72,97	4,69	560	1066,4	1	1066,40	8
6		5,5	6,38	1205	687	517,8	2,33	2,46	12,55	82,00	5,46	18,00	69,69	5,46	657	1274,8	0,99	1261,83	13
7		5,5	6,30	1200	686,5	513,5	2,34	2,46	12,60	82,36	5,04	17,64	71,41	5,04	736	1427,8	1,01	1442,12	8
8		5,5	6,32	1204	690	513,8	2,34	2,46	12,63	82,57	4,80	17,43	72,47	4,80	853	1654,8	1,01	1671,37	12
9		5,5	6,38	1215	695,5	519,0	2,34	2,46	12,62	82,47	4,91	17,53	71,97	4,91	760	1474,4	0,99	1459,66	11
10		5,5	6,33	1208	691,3	516,3	2,34	2,46	12,61	82,43	4,96	17,57	71,77	4,96	712	1381,3	1,01	1395,09	15
M		5,50					2,34	2,46					72,27	4,85				1404,77	21,30

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR DE ASFALTO 6,0%) - 50G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

CORPO DE PROVA - Nº	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
				NO AR	NA AGUA		APAR.	TEOR.	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	dl	-	-	-	100-FJ	100-J	PL*100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	1"
1		6	6,45	1206	687,8	518,1	2,33	2,44	13,69	81,59	4,72	18,41	74,37	4,72	401	777,94	0,97	754,60	13
2		6	6,32	1194	686	507,5	2,35	2,44	13,83	82,44	3,73	17,56	78,77	3,73	484	938,96	1	938,96	12
3		6	6,36	1211	696	515,4	2,35	2,44	13,83	82,39	3,78	17,61	78,52	3,78	531	1030,14	1	1030,14	14
4		6	6,42	1210	697,5	512,4	2,36	2,44	13,89	82,77	3,34	17,23	80,63	3,34	558	1082,52	0,96	1060,87	13
5		6	6,41	1209	694,8	514,4	2,35	2,44	13,83	82,40	3,77	17,60	78,58	3,77	521	1010,74	0,98	990,53	10
6		6	6,31	1203	694,3	508,2	2,37	2,44	13,92	82,95	3,14	17,05	81,62	3,14	630	1222,20	1,01	1234,42	12
7		6	6,28	1193	683,4	510,0	2,34	2,44	13,76	82,03	4,21	17,97	76,59	4,21	622	1206,68	1,02	1230,81	11
8		6	6,35	1200	691,5	509,8	2,36	2,44	13,88	82,70	3,43	17,30	80,20	3,43	666	1330,84	1	1330,84	10
9		6	6,30	1189	684,6	504,3	2,36	2,44	13,87	82,64	3,49	17,36	79,89	3,49	749	1453,06	1,01	1467,59	15
10		6	6,38	1206	690,4	516,0	2,34	2,44	13,75	81,96	4,29	18,04	76,22	4,29	820	1590,80	0,99	1574,89	15
M		6,00					2,35	2,44					78,54	3,79				1161,37	22,50

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR DE ASFALTO 6,5%) - 50G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

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	AFAR.	TEOR.	LIG.	AGREG.	VAZIOS	AGREG.		REL BET. VAZIOS	TOTAL	o	
			d		e	g	h		i	j	k	l	m	n	p	q	r		
	POR PESO DE AGREG.	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm³	gf	-	-	-	100+J	100-J	100-J	100-J	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg
1		6,5	6,31	1203	693,3	509,5	2,36	2,42	15,04	82,31	2,64	17,69	85,07	2,64	458	888,52	1,01	897,41	9
2		6,5	6,35	1205	691,7	512,9	2,35	2,42	14,97	81,89	3,14	18,11	82,65	3,14	592	1148,48	1	1148,48	14
3		6,5	6,29	1212	699,9	512,1	2,37	2,42	15,08	82,52	2,39	17,48	86,30	2,39	549	1065,06	1,01	1075,71	14
4		6,5	6,34	1212	699,1	512,9	2,36	2,42	15,06	82,39	2,55	17,61	85,53	2,55	512	993,28	1	993,28	14
5		6,5	6,25	1200	692	508,0	2,36	2,42	15,05	82,37	2,58	17,63	85,36	2,58	466	904,04	1,02	922,12	15
6		6,5	6,23	1207	696,5	510,9	2,36	2,42	15,06	82,40	2,54	17,60	85,59	2,54	602	1167,88	1,03	1202,92	17
7		6,8	6,40	1213	698,8	513,8	2,36	2,42	15,04	82,29	2,67	17,71	84,93	2,67	622	1206,68	0,99	1194,61	13
8		6,5	6,31	1207	695,9	510,8	2,36	2,42	15,05	82,37	2,57	17,63	85,40	2,57	560	1086,40	1,01	1097,26	12
9		6,5	6,27	1202	694,6	506,9	2,37	2,42	15,10	82,65	2,25	17,35	87,05	2,25	573	1111,62	1,02	1133,85	14
10		6,5	6,33	1202	694,1	508,2	2,37	2,42	15,08	82,49	2,43	17,51	86,11	2,43	600	1164,00	1	1164,00	13
M		6,50					2,36	2,42					85,40	2,58				1082,96	23,50

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR DE ASFALTO 4,5%) - 75G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

CORPO DE PROVA - N	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
	a	b		c	NEAR		NA AGUA	g	t	DIG	AGREG	VAZIOS	AGREG	REL BET VAZIOS		TOTAL	o	p	
			d		e	f	h								i				j
	POR PESO DE AGREG	POR PESO DE MIST.	cm	g	g	cm ³	g/cm ³	-	-	-	100-j	100-j	100-j	100-j	-	-	kg	USAR TABELA	kg
1	4,5	6,43	1194	680	514,2	2,32	2,50	10,25	92,71	7,04	17,29	59,27	7,04	672	1303,68	0,98	1277,61	9	
2	4,5	6,51	1197	674,9	522,0	2,29	2,50	10,12	91,66	8,22	18,34	55,16	8,22	483	937,02	0,96	899,54	8	
3	4,5	6,44	1204	681	523,1	2,30	2,50	10,15	81,98	7,87	18,02	56,35	7,57	523	1014,62	0,98	994,33	9	
4	4,5	6,43	1206	685	521,3	2,31	2,50	10,21	82,41	7,38	17,59	58,04	7,38	502	973,9	0,98	954,40	8	
5	4,5	6,33	1215	701,6	513,0	2,37	2,50	10,45	84,32	5,23	15,68	66,62	5,23	522	1012,7	1	1012,68	9	
6	4,5	6,50	1190	674,1	515,9	2,31	2,50	10,18	82,15	7,67	17,85	57,01	7,67	686	1330,84	0,96	1277,61	11	
7	4,5	6,52	1204	682,6	518,4	2,32	2,50	10,25	82,71	7,04	17,29	59,26	7,04	673	1305,62	0,96	1253,40	10	
8	4,5	6,54	1199	667,7	521,8	2,32	2,50	10,22	89,52	7,26	17,48	56,47	7,26	642	1245,48	0,96	1163,21	10	
9	4,5	6,44	1207	689,2	517,5	2,33	2,50	10,29	82,04	6,67	16,96	60,67	6,67	757	1408,6	0,98	1439,21	12	
10	4,5	6,38	1217	694,7	522,3	2,33	2,50	10,28	82,98	6,74	17,02	60,41	6,74	712	1331,3	0,96	1367,47	11	
M	4,50					2,32	2,50					59,13	7,11				1165,94	15,70	

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR DE ASFALTO 5,0%) - 75G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

GRUPO DE PROVA - N	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
				NO AR	NA ÁGUA		APAR	TEOR	LIG	AGREG	VAZIOS	AGREG	REL. BET. VAZIOS	TOTAL		LDA	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	cm	g	g	%	%	100-J	100-J	ML/100	%	kg	USAR TABELA	kg	mm	
1		5	6,42	1217	669,8	517,0	2,35	2,48	11,54	83,38	5,08	16,62	69,42	5,08	74,2	1459,48	0,98	1410,69	13
2		5	6,36	1107	692,0	514,4	2,35	2,48	11,50	83,13	5,37	16,87	68,17	5,37	649	1259,1	1	1259,05	12
3		5	6,36	1209	694	515,0	2,35	2,48	11,51	83,17	5,32	16,83	68,37	5,32	758	1470,5	0,99	1465,81	9
4		5	6,29	1234	716,1	518,2	2,38	2,48	11,68	84,38	3,94	15,62	74,77	3,94	1120	2172,8	1,02	2119,26	16
5		5	6,36	1206	692,8	512,9	2,35	2,48	11,52	83,29	5,20	16,72	69,93	5,20	648	1645,1	1	1645,12	13
6		5	6,36	1204	694	510,4	2,36	2,48	11,57	83,60	4,83	16,40	70,53	4,83	610	1705,40	1	1705,40	13
7		5	6,32	1204	696	509,0	2,37	2,48	11,60	83,50	4,60	16,20	71,58	4,60	645	1833,3	1,01	1857,63	14
8		5	6,21	1155	690,4	506,6	2,37	2,48	11,60	83,50	4,60	16,20	71,60	4,60	670	1602,4	1,03	1650,51	17
9		5	6,38	1211	697,8	513,2	2,36	2,48	11,57	83,60	4,83	16,40	70,53	4,83	655	1658,7	0,99	1642,11	14
10		5	6,24	1194	686,8	509,2	2,35	2,48	11,52	83,24	5,25	16,76	68,70	5,25	1085	2104,9	1,02	2147,00	14
M		500					2,36	2,48					70,26	4,90				1704,36	23,50

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR DE ASFALTO 5,5%) -- 75G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

CORPO DE PROVA - N°	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME - % TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
				NO AR	NA ÁGUA		APAR	TEOR	LIG	AGREG	VAZIOS	AGREG	REL BET. VAZIOS	TOTAL		LIGA	CORREÇÃO	CORRECTA	
	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	cm	g/l				100-FJ	100-J	l/l*100			kg	USAR TABELA	kg	100
1		5,5	6,26	1203	651,9	610,6	2,35	2,46	12,76	83,00	4,31	17,00	74,68	4,31	745	1445,30	1,02	1474,21	12
2		5,5	6,32	1210	658,6	611,4	2,37	2,48	12,76	83,38	3,86	16,62	76,77	3,86	690	1338,6	1,01	1351,99	11
3		5,5	6,35	1208	651,4	614,6	2,34	2,46	12,64	82,59	4,77	17,41	72,58	4,77	643	1247,4	1	1247,42	11
4		5,5	6,23	1192	653,2	605,5	2,36	2,46	12,71	83,08	4,21	16,92	75,13	4,21	639	1239,7	1,03	1276,85	10
5		5,5	6,28	1200	652,3	608,0	2,35	2,46	12,74	83,27	3,99	16,73	76,14	3,99	680	1319,2	1,02	1345,58	8
6		5,5	6,30	1204	652,3	611,3	2,35	2,46	12,65	82,96	4,35	17,04	74,48	4,35	670	1299,80	1,01	1312,80	12
7		5,5	6,33	1219	704,6	614,4	2,37	2,46	12,73	83,51	3,71	16,49	77,50	3,71	636	1625,7	1	1625,72	11
8		5,5	6,31	1207	655,9	610,6	2,35	2,46	12,74	83,27	3,99	16,73	76,16	3,99	802	1555,9	1,01	1571,44	12
9		5,5	6,31	1197	658,2	609,0	2,35	2,46	12,65	82,89	4,43	17,11	74,12	4,43	647	1643,2	1,01	1659,61	12
10		5,5	6,19	1189	656,4	602,6	2,37	2,46	12,76	83,37	3,87	16,63	75,71	3,87	776	1493,8	1,04	1553,55	15
M		5,50					2,35	2,46					75,43	4,15				1441,92	21,40

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR DE ASFALTO 6,0%) - 75G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

CORPO DE PROVA N	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME REAL TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEFLECT	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
				NDAR	NA ÁGUA		APAR	TEOR	LIG	ÁGREG	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	cm ³	cf	-	-	-	100-J	100-J	ML*100	-	-	Ng	USAR TABELA	Fg	1"
1	6	6,36	1207	693,3	513,4	235	2,44	13,63	82,39	3,78	17,61	78,52	3,78	525	1026,26	1	1026,26	7	
2	6	6,28	1199	680,9	509,3	236	2,44	13,68	82,70	3,42	17,30	80,23	3,42	519	1006,66	1,02	1027,00	11	
3	6	6,23	1193	692,7	505,1	237	2,44	13,65	83,13	2,92	16,87	82,68	2,92	550	1037,00	1,03	1059,01	13	
4	6	6,27	1202	685,6	508,4	238	2,44	13,91	82,69	3,20	17,11	81,31	3,20	517	1022,98	1,02	1023,04	11	
5	6	6,19	1200	693,8	506,4	237	2,44	13,94	83,08	2,98	16,92	82,41	2,98	607	1177,58	1,04	1224,68	14	
6	6	6,38	1211	699,8	510,8	237	2,44	13,64	83,05	2,99	16,92	82,39	2,99	760	1474,40	0,99	1459,66	14	
7	6	6,24	1201	686,2	505,4	238	2,44	13,97	83,27	2,75	16,73	83,54	2,75	823	1596,62	1,03	1644,52	11	
8	6	6,37	1199	694	505,3	237	2,44	13,66	83,20	2,64	16,80	83,10	2,64	653	1266,82	0,99	1254,15	15	
9	6	6,29	1200	692,7	507,7	238	2,44	13,91	82,85	3,21	17,12	81,25	3,21	832	1614,08	1,02	1646,35	13	
10	6	6,32	1202	694	507,6	237	2,44	13,92	82,98	3,09	17,02	81,82	3,09	781	1515,14	1,01	1530,20	16	
M	600						237	2,44					81,73	3,12				1293,50	22,50

DOSAGEM "MARSHALL" - FILER RESÍDUO (TEOR DE ASFALTO 6,5%) - 75G SEM E COM IMERSÃO

ATECEL

CORPO DE PROVA - N	% DE LIGANTE NA MISTURA		ALTURA	PESO		VOLUME	PESO ESPECÍFICO		VOLUME REL TOTAL			VAZIOS - %			LEITURA NO DEPECT	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA
				NO AR	NA AGUA		APAR	TEOR	LIG.	AGREG	VAZIOS	AGREG	REL BET. VAZIOS	TOTAL		LIGA	CORREÇÃO	CORREJIDA	
	a	b	c	e	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	cm	af	-	-	-	100-J	100-J	%100	-	-	Kg	USAR TABELA	Kg	t'
1		6,5	6,16	1173	675,2	497,8	2,36	2,42	15,02	82,16	2,82	17,84	84,18	2,82	511	991,34	1,05	1040,91	9
2		6,5	6,27	1189	685,2	504,2	2,36	2,42	15,03	82,25	2,71	17,75	84,71	2,71	562	1090,28	1,02	1112,39	11
3		6,5	6,25	1195	691,5	506,7	2,36	2,42	15,07	82,45	2,48	17,55	85,88	2,48	474	949,55	1,02	937,95	15
4		6,5	6,19	1190	687,6	502,6	2,37	2,42	15,09	82,57	2,34	17,43	86,58	2,34	554	1074,76	1,04	1117,75	12
5		6,5	6,25	1199	691,2	507,6	2,36	2,42	15,05	82,55	2,60	17,65	85,26	2,60	599	1142,66	1,02	1165,51	11
6		6,5	6,20	1194	690,1	504,0	2,37	2,42	15,10	82,81	2,29	17,39	86,83	2,29	673	1305,62	1,04	1357,64	14
7		6,5	6,18	1187	683,5	503,3	2,36	2,42	15,03	82,22	2,75	17,78	84,52	2,75	581	1088,34	1,04	1131,87	14
8		6,5	6,34	1203	693,4	509,2	2,36	2,42	15,05	82,35	2,60	17,65	85,27	2,60	590	1125,20	1	1125,20	17
9		6,5	6,24	1200	694,1	506,3	2,37	2,42	15,11	82,67	2,22	17,33	87,18	2,22	516	1001,04	1,03	1031,07	18
10		6,5	6,19	1186	687	499,4	2,38	2,42	15,14	82,83	2,03	17,17	88,19	2,03	604	1171,76	1,04	1218,63	15
M		6,50					2,36	2,42					85,86	2,48				1123,68	23,60