



UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE VIDRO PLANOS COMO FÍLER EM MISTURAS ASFÁLTICAS – PROPRIEDADES MECÂNICAS

Rafael Azevedo Nunes Cunha¹, Jonh Kennedy Guedes Rodrigues²

RESUMO

A necessidade do desenvolvimento sustentável em favor da preservação dos recursos naturais tem levado a pesquisa da reutilização de materiais, anteriormente descartados no meio ambiente, em diversas cadeias produtivas. O crescente número de veículos pesados com excesso de carga, devido a inexistência de balanças nas rodovias, aliados a susceptibilidade das misturas asfálticas a presença de água pode vir a prejudicar a vida útil do pavimento podendo levar a ruína em apenas dois anos um pavimento projetado para durar dez anos. Um dos meios de minimizar os danos provocados por este agente é a adoção de fíler nas misturas, melhorando assim o desempenho reológico, mecânico, térmico e a susceptibilidade à presença da água. Entre os fíleres utilizados encontram-se a cal e o cimento Portland. O vidro por ser um material 100% reciclável porém não é biodegradável acarretando assim um problema quando descartado no meio ambiente. Provem a utilização desse mesmo material como fíler nas misturas trazendo benefícios pois apresentam comportamento físico semelhante e podem ser facilmente processados, britados e reduzidos a tamanhos adequados à produção de misturas asfálticas de base e de revestimento.

Neste trabalho procurou-se verificar o comportamento mecânico dos resíduos vítreos por meios dos ensaios de Tração por Compressão Diametral e Marshall, recolhendo dados suficientes para sua aplicação perante as necessidades impostas.

Palavra-chaves: Pavimentação, Fíleres, Resíduo vítreo

¹ Aluno de Curso de Engenharia Civil, Depto. de Engenharia Civil, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: rafaelnunesjunior@gmail.com

² Engenheiro Civil, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Civil, UFPG, Campina Grande, PB, E-mail: jkennedy@dec.ufcg.edu.br

USE OF PLAIN GLASS RESIDUES AS FÍLER IN ASPHALT MIXTURES - MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT

The necessity of the sustainable development for the preservation of the natural resources has taken the research of the reusing of materials, previously discarded in the environment, diverse productive chains. The increasing number of vehicles weighed with load excess, which had the inexistence of scales in the highways, allies the liable of the asphalt mixtures the water presence can come to harm the useful life of the floor being able to take the ruin in only two years a projected floor to last ten years. One of the ways to minimize the damages provoked for this agent is the adoption of filer in the mixtures, thus improving the Rheology, mechanical, thermal performance and the liable to the presence of the water. Fíleres enters used meets it whitewash and the Portland cement. The glass for being a material 100% recycle to put is not biodegradable thus causing a when discarded problem the environment. The use comes since same material as filér in the mixtures bringing benefits therefore present similar physical behavior and can easily be processings, crushed stone and reduced the adequate sizes to the production of asphalt mixtures of base and covering. In this work it was looked to verify the mechanical behavior of the glass residues for ways them assays of Diametrical compression and marshall, collecting given enough for its application before the imposed necessities.

Key-words: asphalt pavement; Fíleres; glass residue

INTRODUÇÃO

A preocupação com os resíduos oriundos das atividades industriais e a sua inserção, novamente, no ciclo produtivo é uma atividade recente no Brasil, ao contrário do que ocorre em países como os Estados Unidos e países europeus como a Alemanha e a Holanda que fazem uso desta prática desde a década de 60.

A adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos resíduos desperdiçados pelas obras civis pode reduzir a quantidade de matérias-primas extraídos das jazidas e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental pela reutilização e reciclagem dos rejeitos minerais (OLIVEIRA, 2002).

Os materiais reutilizados devem agregar aos produtos propriedades mecânicas, físicas e químicas similares àquelas obtidas quando utilizados os materiais convencionais. Uma das linhas de utilização dos resíduos industriais é a pavimentação.

A malha rodoviária brasileira constitui a principal via de circulação de bens e pessoas do país. Dentre os 1.670.000 km existentes, apenas 8% são pavimentadas. A grande maioria das rodovias pavimentadas no Brasil é de recobrimento asfáltico (LEITE *apud* SILVA *et al.*, 2002).

Apesar da grande relevância que este tipo de malha tem para o crescimento econômico do país, as rodovias, sejam estaduais ou federais, encontram-se em estado precário acarretando riscos aos seus usuários, bem como dispêndio financeiro aos órgãos administrativos com suas constantes manutenções.

De acordo com Pinheiro (2004) a péssima situação da malha rodoviária brasileira pode ser atribuída a diversos fatores além do revestimento em si, como a falta de manutenção, sobrecarga de caminhões, fundações não apropriadas, falta de drenagem adequada, materiais sem a qualidade desejada, geometria inadequada, má sinalização, má execução, etc.

A falta de um adequado sistema de drenagem ou a adoção de mecanismos que evitem a presença de água no interior das misturas asfálticas contribuem para o aparecimento de defeitos nos pavimentos como trincas, afundamento de trilha de roda, exsudação, buracos, desagregação, entre outros.

O crescente número de veículos pesados com excesso de carga, devido a inexistência de balanças nas rodovias, aliados a susceptibilidade das misturas asfálticas a presença de água pode vir a prejudicar a vida útil do pavimento podendo levar a ruína em apenas dois anos um pavimento projetado para durar dez anos.

Um dos meios de minimizar os danos provocados por este agente é a adoção de filer nas misturas, melhorando assim o desempenho reológico, mecânico, térmico e a susceptibilidade à presença da água. Entre os fileres comumente utilizados encontram-se a cal e o cimento Portland .

A substituição dos fileres convencionais por resíduos oriundos de atividades industriais tem como intuito promover o desenvolvimento sustentável sem comprometer o comportamento mecânico, físico e químico das misturas asfálticas.

Apesar de o vidro ser 100% reciclável ele é não-biodegradável o que provoca um grande problema ambiental quando simplesmente descartado, pois ocorre o acúmulo de grande quantidade desse material que não é degradado pela natureza em aterros sanitário (VASQUES *et al.*, 2007).

O vidro plano por possuir composição química diferente e menor demanda do que os vidros de embalagens, não são considerados recicláveis, pois pode induzir o aparecimento de trincas nos materiais reciclados.

O reuso de agregados primários ou o uso de resíduo de materiais na pavimentação asfáltica tem acarretado grande benefício à sociedade. Agregados provenientes do ferro e do aço ou do vidro moído têm sido considerados bons substitutos dos agregados convencionais, pois apresentam comportamento físico semelhante e podem ser facilmente processados, britados e reduzidos a tamanhos adequados à produção de misturas asfálticas de base e de revestimento (AIREY *et al.*, 2004).

Os resíduos gerados durante o processamento de vidros planos acarretam um desperdício de material que poderia ser utilizado como filer ou material de drenagem, todavia este vem sendo utilizado como agregado em misturas asfálticas (AYREI *et al.*, 2004).

A utilização do resíduo de vidro plano como filer em misturas asfálticas é uma alternativa que deve ser estudada.

O desenvolvimento econômico e a industrialização são os principais responsáveis pelo crescimento exponencial dos resíduos lançados ao meio ambiente. Diante da eminente escassez de matéria prima e necessidade de preservação ambiental, está ocorrendo um maior interesse, por parte de organizações não-governamentais, no estudo de meios de minimizar os danos que os resíduos podem vir a causar ao meio.

Os materiais reincorporados devem agregar aos produtos propriedades similares àquelas obtidas quando utilizados os materiais convencionais. Uma das linhas de aproveitamentos dos rejeitos industriais é a pavimentação.

Devido à importância socioeconômica para o desenvolvimento sustentável do país e o grande patrimônio público representado pelas estradas, cabe à engenharia o grande desafio de inovar com tecnologias e formas de gerência que reduzam o custo total do transporte do país, garantindo a manutenção e o fornecimento de uma maior extensão de rodovias em boas condições para os usuários.

A malha rodoviária brasileira constitui a principal via de circulação de bens e pessoas do país. Dentre os 1.670.000 km de estradas existentes, apenas 8% são pavimentadas. A grande maioria das rodovias pavimentadas no Brasil é de recobrimento asfáltico (LEITE apud SILVA et al, 2002).

De acordo com Pinheiro (2004) a péssima situação da malha viária brasileira pode ser atribuída a diversos fatores além do revestimento em si, como a falta de manutenção, sobrecarga de caminhões, fundações não apropriadas, falta de drenagem adequada, materiais sem a qualidade desejada, geometria inadequada, má sinalização, má execução, etc.

A adoção de uma política de incentivo para o reaproveitamento dos bens minerais descartados pelas obras civis pode reduzir a quantidade de minerais extraídos das jazidas e, conseqüentemente, diminuir o impacto ambiental pela reutilização e reciclagem dos rejeitos minerais (OLIVEIRA, 2002).

Segundo dados da ABIVIDRO (2006) são produzidas 2.130 toneladas de vidro por ano no Brasil. Todavia, apenas 43% destes sofrem um processo de reciclagem, enquanto em países da Europa esse percentual chega a 75%.

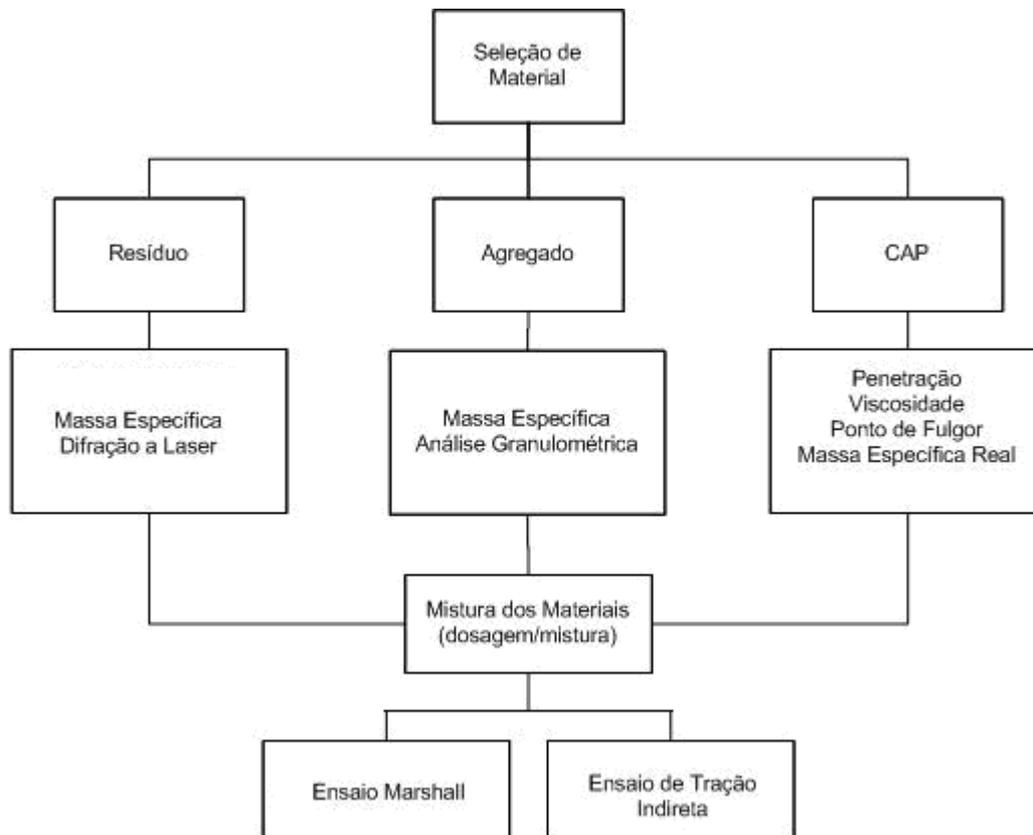
Apesar de o vidro ser 100% reciclável ele não é biodegradável o que torna-se um grande problema ambiental quando simplesmente descartado, pois há o acúmulo de grande quantidade desse material que não é absorvido pela natureza em aterros sanitário (VASQUES et al., 2006).

De acordo com Ayrei et. al (2004) a busca pelo desenvolvimento sustentável tem levado a procura de incorporar rejeitos na pavimentação como forma de diminuir o desperdício gerado com o uso indiscriminado dos agregados convencionais.

Neste trabalho comentaremos o uso de resíduos vítreos na substituição de fileres convencionais como o cimento portland e o Cal com intuito promover o desenvolvimento sustentável sem comprometer a estabilidade mecânica, física e química das misturas asfálticas

MATERIAIS E METODOS

Nesta etapa, relatam-se os experimentos desenvolvidos na pesquisa, com os aspectos dos materiais utilizados, à preparação das amostras, as metodologias e especificações das misturas. O Fluxograma 1 apresenta a seqüência de atividades e ensaios realizados durante a fase experimental do trabalho.



Fluxograma 1 – Seqüência de atividades e ensaios

Materiais

Com exceção do resíduo vítreo, os demais materiais utilizados nesta pesquisa serão disponibilizados pela ATECEL – Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior. O resíduo vítreo foi disponibilizado pela vidraçaria Mauricéia localizada na cidade de Campina Grande- Paraíba.

Agregados Graúdos

Os agregados graúdos utilizados foram do tipo brita granítica, designados como comerciais.

Agregados Miúdos

No que se refere aos agregados miúdos, optou-se por usar uma areia de rio do tipo quartzosa, devido esta ser de uso comum em obras de engenharia da região.

Resíduo Vítreo

No intuito de utilizar tratamentos que visam diminuir a susceptibilidade à presença de água das misturas asfálticas, foi escolhido o resíduo do vidro plano para atuar como fíler (material de enchimento) O resíduo foi gerado durante o corte e processamento do vidro em vidraçarias e fornecido pela vidraçaria Mauricéia.

A fim de deixar a granulométrica do resíduo vítreo compatível com a normalizada para atuar como fíler, os resíduos foram submetidos a um apiloamento manual afim de reduzir a sua granulométrica (Figura 1) e em seguida foram triturados no moinho de bolas de alumina até atingir granulométrica de fíler (Figura 2). Para aplicação do resíduo vítreo em escala industrial é utilizado o moinho cuja produção, dependendo do modelo, pode chegar a 18 ton/h.



(a)



(b)

Figura 1 - Apiloamento do vidro (a) estágio inicial (b) estágio final



(a)



(b)

Figura 2 – Moinho de bolas (a) posicionamento dos recipientes (b) após a trituração

Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O CAP utilizado na pesquisa é 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.

Métodos

Foram abordados neste trabalho como forma de alcançar os objetivos propostos, informações contidas na literatura corrente, bem como os resultados obtidos a partir de ensaios em laboratórios.

Os métodos de ensaios utilizados foram, em sua grande maioria, propostos pelo DNIT, Normas Brasileiras –NBR , American Society for Testing and Materials –ASTM e American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO.

Foram realizados ensaios de caracterização dos materiais, além de ensaios que avaliam a susceptibilidade das misturas asfálticas à presença de água (como os ensaios estáticos Marshall e o de Compressão Diametral).

Ensaio de Caracterização Física e Mecânica

Massa específica

As normas do DNIT ME 081/98, DNIT - ME 084/95 e DNIT - ME 093/94 determinam, respectivamente, os procedimentos adotados para determinação da massa específica dos agregados graúdos, agregados miúdos e do resíduo. O ensaio foi realizado no laboratório da ATECEL em Campina Grande-PB.

Análise da distribuição dos tamanhos dos grãos dos fileres

O ensaio de análise granulométrica por peneiramento e sedimentação foi realizado no laboratório da ATECEL segundo a NBR 7181 (ABNT, 1984), para atingir tal fim a amostra foi colocada em estufa calibrada à 110°C, por um período de 24 horas.

A análise granulométrica por difração de laser utiliza o método de dispersão de partículas em fase líquida associado com um processo de medida óptica através de difração de laser. O aparelho utilizado foi analisador de partículas por difração a laser, “granulômetro”, marca Cilas 1064 LD, com faixa analítica de 0,04 a 500 microm e emissores de laser secundários (Figura 3). A análise foi realizada no laboratório da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.



Figura 3 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de difração a laser

Análise química

As amostras dos materiais foram submetidas a análise química, segundo técnicas clássicas e instrumentais no Laboratório de Análise Mineral do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande.

Análise térmica

Análise térmica diferencial (DTA)

A análise térmica diferencial (DTA) serve para indicar as faixas de mudança de temperaturas endotérmicas e exotérmicas e foi utilizada para caracterizar o filer de resíduo vítreo. As análises foram

realizadas em aparelho de análise térmica SHIMADSU, modelo DTG-60, em atmosfera de nitrogênio com cadinho de alumina, fluxo de $1010\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e razão de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, com massa inicial de $10,1\text{mg}$ e temperatura máxima de 1000°C . Os ensaios foram realizados no Laboratório de Combustíveis e Materiais (LACOM) do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba.

Termogravimétrica (TG)

A termogravimetria (TG) é útil para indicar as faixas de temperaturas onde ocorrem as perdas de massas. As análises foram realizadas em aparelho de análises térmicas SHIMADSU, modelo DTG-60, em atmosfera de nitrogênio com cadinho de alumina, fluxo de $1010\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e razão de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, com massa inicial de $10,1\text{mg}$ e temperatura máxima de 1000°C . Os ensaios foram realizados no Laboratório de Combustíveis e Materiais (LACOM) do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal da Paraíba.

Difração de raios-X

Para determinação dos principais elementos que compõem os resíduos a amostra foi submetida a análise mediante a utilização de um equipamento Shimadzu XDR-6000 utilizando radiação de $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40kV , corrente de 30mA , varredura de $2^\circ < 2\theta < 30^\circ$ e $\lambda = 1,54\text{\AA}$ (Figura 4). As análises de difração de raios-X foram realizadas no Laboratório de Caracterização de Materiais da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande.

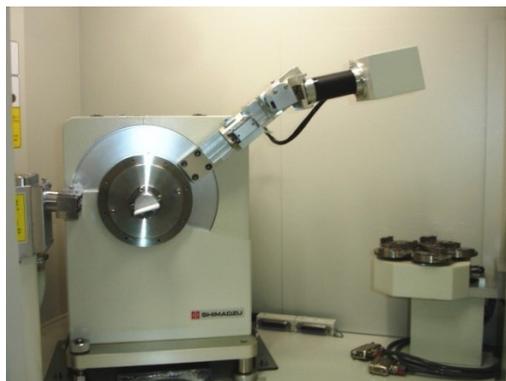


Figura 4 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio de difração de raios-X

Espectroscopia de infravermelho

Esta técnica serve como complemento para identificação de um composto ou investigar a composição de uma amostra. O ensaio foi realizado no Laboratório da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Campina Grande .

Ensaio com o cimento asfáltico de petróleo

A caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo, CAP, foi realizada de acordo com as normas contidas na Tabela 1.

Tabela 1- Normas utilizadas para a realização dos ensaios de caracterização do CAP

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

Ensaio mecânicos

O estudo da interação do filler com o CAP foi realizado com a análise dos resultados obtidos com o auxílio dos ensaios de Penetração e Viscosidade (ensaio com o mastíque), enquanto o estudo da interação filler, CAP e agregados foi realizado com a análise dos resultados obtidos dos ensaios Marshall, Compressão Diametral.

Ensaio Marshall

O ensaio Marshall foi realizado segundo a norma do DNIT – ME 043/95 utilizando um compactador mecânico. Com o intuito de observar o comportamento mecânico da mistura asfáltica, com o aumento da quantidade de fileres, foram realizados ensaios Marshall com incrementos de filler, em relação ao peso do corpo-de-prova, de 2,0%, 3,0%, 4,0% e 5,0% . A relação entre o teor de filler e o teor de asfalto foi fixada para o limite inferior de 0,6 (em peso) e para o limite superior $\gg 1,2$. Estes, por sua vez, preconizados pelo programa SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavements) e sugeridos por Roberts *et al.* (1996).

Para realização dos ensaios Marshall foram moldados vinte e quatro (corpos-de-prova), dos quais foram moldados 6 copos de prova para cada percentagem do filler e compactados com 75 golpes. De cada 6 corpos-de-prova foram rompidos três com imersão e três sem imersão. O ensaio foi realizado no laboratório da ATECEL. As Figuras 5 e 6 apresentam os equipamentos utilizados.



Figura 5 - Equipamentos utilizados para realização da compactação dos corpos-de-prova (a) Compactador (b) Corpo-de-prova (c) Soquete + Cilindro

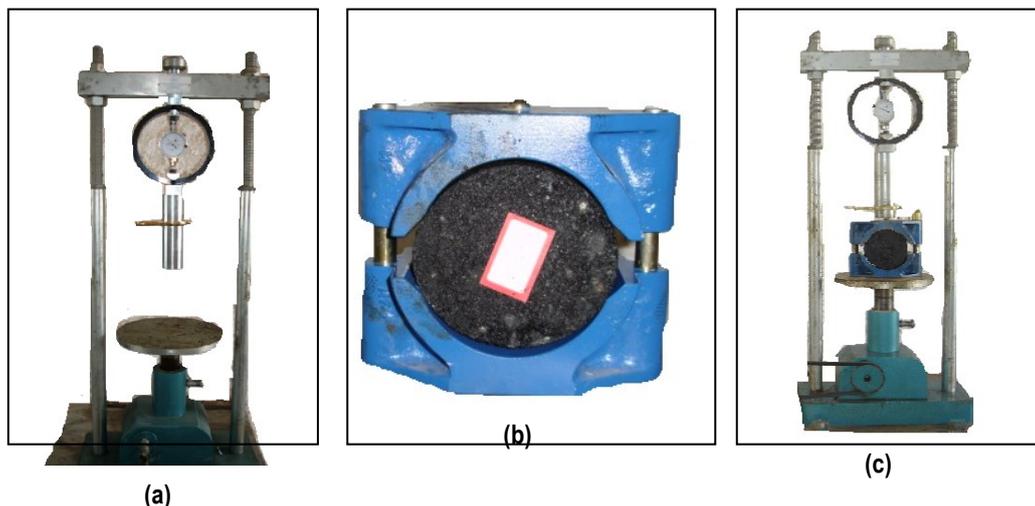


Figura 6 - Equipamentos utilizados para realização do ensaio Marshall (a) Prensa (b) Molde (c) Prensa + Molde

Mourão (2003) e Wesseling (2003) mostram que com relação ao período de desempenho das misturas asfálticas, o ensaio Marshall utiliza os mesmos processos de condicionamento utilizado no Lottman Test, que apresenta um período estimado de 4 a 12 anos de previsão de análise do efeito da adesividade nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas.

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

Coelho (1992) indica que fatores como tempo insuficiente para obtenção de misturas homogêneas, compactação ineficiente e controle da temperatura dos materiais envolvidos podem influenciar nos resultados obtidos. Deste modo, foram tomadas as devidas precauções no controle do ensaio.

Ensaio de tração indireta por compressão diametral

O ensaio de tração indireta por compressão Diametral foi realizado segundo a norma do DNIT – ME 138/94 utilizando um compactador mecânico. Os corpos-de-prova foram preparados com o teor ótimo de CAP de 4,5%, com o índice de vazios de 3 a 5%, e com a variação do percentual dos fileres. O intuito deste procedimento foi verificar a influência do teor de filer no comportamento da mistura asfáltica em relação à adesividade e o efeito deletério da água. Nesta etapa foram moldados quatro (4) corpos-de-prova para cada percentual de filer, todos compactados com 75 golpes, dos quais foram rompidos dois com imersão a sessenta graus Celsius (60°C) e dois sem imersão (em estufa a 60°C). O ensaio foi realizado no laboratório da ATECEL.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo trata da análise dos resultados obtidos com a realização dos ensaios de caracterização dos materiais, ensaios com os mastique (CAP+resíduo do vidro) e ensaios com as misturas.

Ensaio Marshall

Com o objetivo de avaliar o comportamento da mistura asfáltica com a variação do teor de filer e a susceptibilidade à presença de água, foram confeccionados 24 corpos-de-prova (12 submetidos a imersão e 12 sem imersão) variando o teor de filer em 2, 3, 4, e 5%.

Estabilidade

Na Figura 10 estão inseridos os resultados obtidos para a estabilidade Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova. As respectivas curvas apresentam, também, os valores da estabilidade Marshall em função dos incrementos dos fileres obtidos para os corpos-de-prova submetidos à imersão em água e sem imersão. Os valores de estabilidade, para os corpos-de-prova com imersão, apresentam tendência crescente até o percentual de 4%, após este valor ocorre uma queda da estabilidade. Nos corpos-de-prova sem imersão não ocorre diminuição da estabilidade no teor de 5%.

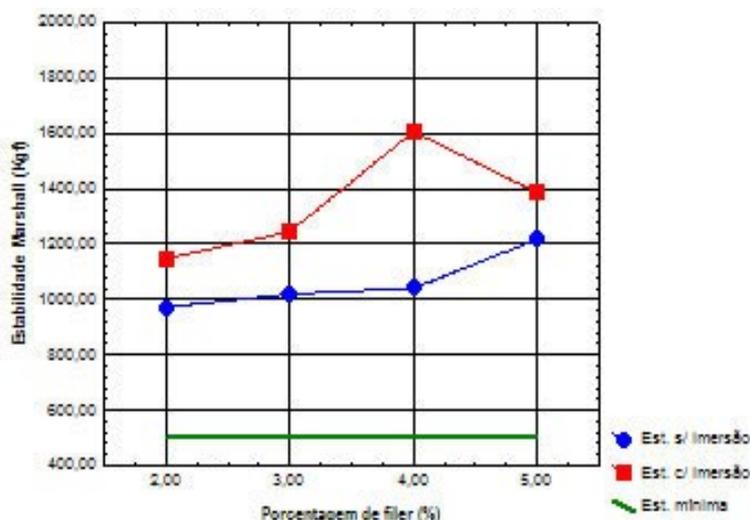


Figura 10- Estabilidade Marshall

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

A estabilidade mínima exigida para tráfego alto, com N superior a $5 \cdot 10^6$, segundo o DNIT é de 500 kgf para 75 golpes, este valor foi alcançado para todos os corpos-de-prova moldados. O declínio da estabilidade observado após o teor de 4% nos corpos-de-prova com imersão foi explicado por Bernucci *et al.* (2007) que relata que ao aumentar a porcentagem do pó, os vazios são reduzidos e ocorre um aumento da trabalhabilidade da mistura asfáltica. A partir de certo ponto, o pó começa a prejudicar a estabilidade do

esqueleto mineral, diminuindo os contatos entre as partículas grossas e alterando a capacidade de compactação da mistura.

Os valores de estabilidade dos corpos-de-prova com imersão são superiores aos sem imersão, e pode ser explicado pela infiltração da água nos vazios que deixa a mistura mais rígida.

Relação Betume/ Vazios

Na Figura 11 estão apresentados os resultados obtidos para a relação betume/vazios Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova. As respectivas curvas apresentam, também, os valores do parâmetro em função dos incrementos dos fíleres obtidos para os corpos-de-prova submetidos à imersão em água e sem imersão.

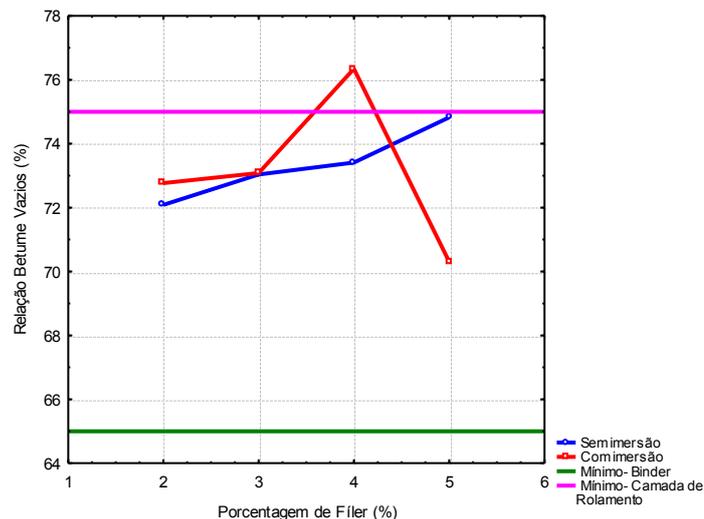


Figura 11- Relação betume/vazios Marshall

Cominsky (1998) cita a percentagem de 75% como o valor ideal para a relação betume/vazios. Em rodovias, com médio a alto volume de tráfego, valores de relação betume/vazio (RBV) menores que 65% pode causar danos prematuros ou excessivo endurecimento do CAP causando trincas e desagregações. Enquanto, valores maiores que 85% podem ocasionar danos como exsudação, corrugação e deformação permanente.

Com relação ao parâmetro RBV, os corpos-de-prova moldados com percentual de 4% atenderam as especificações do DNIT para ser utilizada na camada de rolamento enquanto os moldados com teor de 5% podem ser empregados como binder.

Vazios

Na Figura 12 estão inseridos os resultados obtidos para o parâmetro vazios Marshall relativos aos ensaios realizados com os corpos-de-prova moldados. As respectivas curvas apresentam, também, os valores da estabilidade Marshall em função dos incrementos dos fíleres obtidos para os corpos-de-prova submetidos à imersão em água e sem imersão.

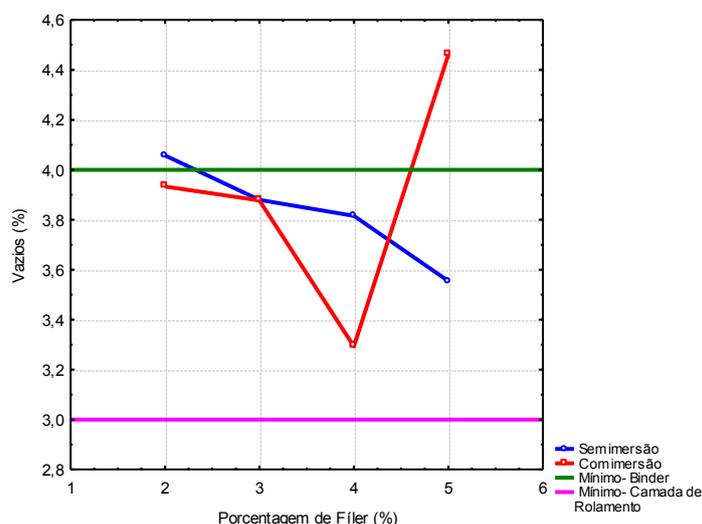


Figura 12- Vazios Marshall

Misturas com elevado número de vazios são permeáveis, menos duráveis e com menor resistência a deformação, enquanto o baixo volume de vazios (inferior a 3%) acarreta problemas de estabilidade que pode vir a ocasionar deformação permanente.

Ambas as curvas se enquadraram na faixa exigida para atuar como camada de rolamento e apenas os teores de 5% com imersão e de 2% na curva sem imersão foi superior ao mínimo exigido pela norma do DNIT para atuar como binder.

Ensaio de Resistência a Tração por Compressão Diametral

Na Figura 13 estão lançados em gráfico os resultados obtidos no ensaio de resistência a tração por compressão diametral com os corpos-de-prova moldados com o filler de resíduo de vidro. Nesta fase foram moldados os corpos-de-prova utilizando a mesma proporção de materiais do ensaio Marshall e variando os teores de filler de 2%, 3%, 4% e 5%.

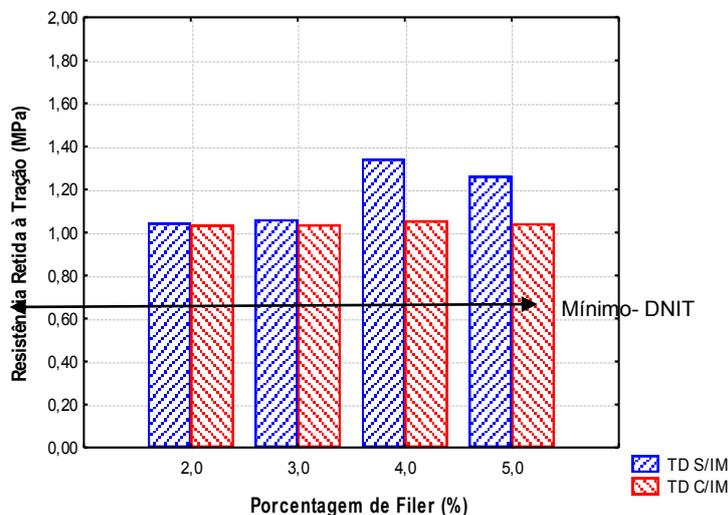


Figura 13 - Resultados do ensaio de resistência a tração por compressão diametral

Todos os teores de fíler forneceram valores de resistência à tração por compressão diametral superiores ao mínimo exigido pelo DNIT (0,65 MPa). Os valores encontrados situam-se dentro do intervalo de 0,8 a 1,2 MPa referenciados na literatura para este tipo de mistura.

Após imersão dos corpos-de-prova em água foi observado um decréscimo da resistência a tração diametral indireta, devido ao efeito da presença d'água na mistura asfáltica.

A adição de Fíler proporciona um aumento da resistência à tração entre 2 e 4% , sofrendo um decréscimo no teor de 5%. Este comportamento foi mais evidente nos corpos-de-prova sem imersão, os imersos apresentaram pequenas variações. Esta diminuição entre os teores de 4 e 5% ocorre devido à incorporação de fíler atingir uma quantidade que começa a separar as partículas grossas, prejudicando a compactação da mistura. Isto corrobora para afirmar que o acréscimo de fíler, realmente, diminui a susceptibilidade da mistura asfáltica à presença de água.

A redução na resistência à tração após a porcentagem de 4% é explicado pelo fato que a partir de certa quantidade de finos, os grãos graúdos não se tocam o que provoca a diminuição da resistência mecânica, expondo uma maior quantidade de finos e conseqüentemente uma superfície menos rugosa.

Lucena (2008) obteve, para o ensaio de tração indireta, valores de resistência para o pó calcário e o resíduo oleoso variando de 0,8 a 1,2 MPa. A similaridade do comportamento dos fileres pó calcário, resíduo oleoso do cascalho de perfuração e resíduo vítreo pode ser explicado por eles apresentarem quantidade significativa de SiO₂ em sua composição química.

CONCLUSÃO

De acordo com os ensaios realizados para avaliar a utilização do resíduo do vidro plano como fíler, visando diminuir a susceptibilidade das misturas asfálticas a presença de água, é possível inferir:

Ensaio de caracterização física e química do resíduo vítreo

- o resíduo trata-se de um vidro soda cal, composto predominantemente de óxido de silício, com pequena quantidade de óxido de cálcio e de sódio, com pequena quantidade de perda ao rubro e com elevado ponto de fusão.

- o resíduo após triturado apresentou granulometria aceitável para ser utilizado como fíler;

- o vidro plano apresentou estabilidade térmica a temperaturas elevadas, com perda de massa insignificante, o que possibilita sua incorporação ao mastique sem alterações de suas características.

Ensaio Marshall

- no caso da estabilidade houve uma tendência crescente com o incremento dos fíler. Todos os teores de fíler apresentam valores de estabilidade superiores aos estabelecidos pelo DNIT (500 kgf);

- os maiores incrementos nos parâmetros de estabilidade ocorreram quando os corpos-de-prova foram submetidos à imersão em banho maria.

Ensaio de tração diametral por compressão indireta

- ao aumentar o percentual de filer ocorre um aumento do valor da resistência a tração, porém todos foram superiores aos estabelecidos pelo DNIT (0,65 MPa).

-os corpos-de-prova que foram imersos em banho maria apresentaram resistência a tração inferior aos que não sofreram imersão.

Considerações Gerais

- os resultados dos ensaios Marshall e o de tração diametral indicaram, para a mistura estudada, o teor ideal de filer de resíduo vítreo que pode ser incorporado na composição do material asfáltico é de 4%. Os resultados do ensaio de módulo de resiliência encontram-se dentro do intervalo referenciado na literatura.

-entretanto como a relação MR/RT encontra-se fora da faixa especificada, é necessária uma maior amostragem com este teor para confirmar o valor desta relação e a realização deste ensaio com os demais teores de filer para verificar se os demais atendem as recomendações.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica, a ATECEL pelos ensaios.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AIREY, G.D. , COLLOP, A.C. e THOM, N.H. Mechanical Performance of Asphalt Mixtures Incorporating Slag and Glass Secondary Aggregates. In: 8th CONFERENCE ON ASPHALT PAVEMENTS FOR SOUTHERN AFRICA, 2004. Anais. África do Sul, volume 1 , 2004

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984

AASHTO- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO T-283: resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage. Washington, USA, 1989

OLIVEIRA, M.J. E. , Materiais descartados pelas obras de construção civil: estudo dos resíduos de concreto para reciclagem , Universidade Estadual Paulista, Rio Claro – SP, 2002

BERNUCCI, L. B. et al., Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros, Petrobras, ABEDA, Rio de Janeiro, 2007

COELHO, V. Considerações sobre o Método Marshall. In: 26ª Reunião Anual de Pavimentação, Aracaju-SE, 1992

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE. DNIT – ME 003/99: Material betuminoso: determinação da penetração. Rio de Janeiro, 1999

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE. DNIT – ME 043/99: Misturas betuminosas a quente: ensaio marshall. Rio de Janeiro, 1995

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE. DNIT – ME 081/95: Agregado graúdo: determinação de densidade real. Rio de Janeiro, 1995

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE. DNIT – ME 084/95: Agregado miúdo – determinação de densidade real. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTE. DNIT – ME 138/94: Misturas asfálticas: determinação da resistência a tração pro compressão diametral. Rio de Janeiro, 1994

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

HICKS et al., Introduction and Seminar Objectives., In: Moisture Sensitivity of Asphalt Pavements, 2003. Anais. San Diego, Transportation Research Board, California, Estados Unidos, 2003

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

MOURA, E. de, Estudo do Efeito de Aditivos Químicos e da Cal como Melhoradores de Adesividade em Misturas Asfálticas Densas. Dissertação de Mestrado, EPUSP-USP, São Paulo, 2001

NEVES FILHO, A. S. , Avaliação da adição de dopes no comportamento de misturas asfálticas a quente. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2006.

SOUZA, J. N Utilização do Resíduo Proveniente da Serragem de Rochas Graníticas como Material de Enchimento em Concretos Asfálticos Usinados a quente. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande- UFCG, Campina Grande, 2001

SCHMIDT, R.J.; GRAFF; P.E.; The Effect of Water on the Resilient Modulus of Asphalt Treated Mixes, Proc., Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 41, pp. 118–162, 1972

VASQUES, R.A., ROCHA, V.C, FERNANDES, D.M.P. Vidro Reciclado Aplicado a Revestimentos Cerâmicos. In: 51 Congresso Brasileiro de Cerâmica. Volume 1, Bahia, 2007

WESSELING, D. H. et al., Estudo Laboratorial do Comportamento de Misturas em Concreto Asfáltico com diferentes tipos de filleres. In: 34ª Reunião Anual de Pavimentação, Campinas, ABPV, São Paulo, 2003