



MÉTODO DE CONFECCÃO DE CORPOS-DE-PROVA ASFÁLTICOS EM ESCALA REDUZIDA UTILIZANDO MATERIAIS ECOLÓGICOS

Johnny Gilberto Moraes Coelho – johnny@ufpa.br

Carmen Gilda Barroso Tavares Dias – cgbtd@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica

Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá

66075-110 – Belém - Pará

Resumo: *Quando falamos de aproveitamento de resíduos, a tendência é reaproveitar materiais que levam anos para deteriorar. Assim, a aplicação desse tipo de material em misturas asfálticas vem se tornando cada vez mais comum. O objetivo do trabalho é mostrar um novo método de confecção de corpos-de-prova em escala reduzida utilizando materiais ecológicos em asfaltos. O composto constituído de resíduo de madeira tatajuba, areia quartzosa, borracha moída de recapagem de pneu inserida no ligante asfáltico (CAP 50/70) e polietileno de alta densidade pós-consumo que aumenta a resistência à compressão dentre os corpos-de-prova analisados. A alternativa de aplicação de borracha moída de recapagem de pneu, resíduo de madeira tatajuba e do polietileno de alta densidade pós-consumo são importantes para diminuir os impactos ocasionados ao meio ambiente e uma alternativa de aplicação de materiais pós-consumo em asfaltos.*

Palavras-chave: CAP 50/70, Resíduo de madeira tatajuba, Borracha moída de recapagem de pneu, Areia quartzosa rejeitada como agregado.

1. INTRODUÇÃO

Materiais ecologicamente corretos ou ditos materiais ecológicos, que são destinados para a indústria da construção civil e para a indústria moveleira vem sendo amplamente pesquisados por várias vertentes.

Os materiais de construção podem ser pós-industriais ou pós-consumo. É possível encontrar uma versão reciclada de praticamente qualquer material de construção.

A viabilidade econômica da reciclagem depende muito da aplicação. Em geral, os materiais virgens têm uma vantagem sobre o controle de qualidade de materiais reciclados. Mas a viabilidade econômica da reciclagem aumenta com o tempo, matérias-primas virgens se tornaram cada vez mais escassas e os custos de eliminação de restos de construção e outros resíduos continuam a aumentar. Nos últimos anos, houve uma proliferação da *Green Building* e princípios de desenvolvimento de sustentabilidade, que modificam o quadro econômico em favor da preservação do meio ambiente. Basicamente, às autoridades governamentais terão que nivelar a produção e os produtos lançados no mercado, mantendo os produtores responsáveis pelos custos associados com a disposição de seus produtos, e se estes estão

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR E O
DESAFIO DE EDUCAR**



associados a reutilização, reciclagem ou aterro. Em muitos países europeus, já é lei os fabricantes projetar seus produtos com os custos do reaproveitamento em mente. Em outras palavras, todo aquele que polui paga pela limpeza do local (MEYER, 2005).

Quando falamos de aproveitamento de resíduos, a tendência é reaproveitar materiais que levam anos para deteriorar. Assim, a aplicação desse tipo de materiais utilizados em mistura asfáltica, por exemplo, com outros materiais tipo seixo, areia, materiais pétreos, cimentos, são comuns (AL-HADIDY, 2009). Entre eles temos alguns termoplásticos pós-consumo, elastômeros e entulhos de obras, utilizados na substituição ou composição dos materiais de pavimentação (AL-HADIDY, 2008).

Os termoplásticos mais conhecidos e utilizados em construção de pavimentos são: polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de alta densidade pós-consumo (P), polipropileno (PP), poliestireno (PS). Entre os elastômeros temos o estireno-butadieno-estireno (SBS), borracha de estireno-butadieno (SBR), borracha natural (NR) e o polímero que engloba todas as faixas de elastômeros citadas provenientes da sobra da raspa de pneu, comumente chamada de borracha moída da recapagem de pneu (B).

O objetivo do trabalho é mostrar o um novo método de confecção de corpos-de-prova utilizando materiais ecológicos em asfaltos através de trabalhos feitos no laboratório de ecocompositos da engenharia mecânica (UFPA).

2. ASFALTO ECOLÓGICO

Quando acrescentamos polietileno de alta densidade pós-consumo (P) ao ligante a tendência é melhorar a resistência de asfaltos à ação de mudanças de temperatura e da ação do calor. A inserção de P em asfaltos proporciona uma melhor resistência a deformações permanentes, devido à sua elevada estabilidade (ATTAELEMANAN, *et al.* 2011).

Enquanto, os principais benefícios comprovados do asfalto-borracha em revestimentos asfálticos são:

- Aumento da vida útil do pavimento;
- Maior resistência à formação de trilhas de roda, à reflexão de trincas e ao envelhecimento;
- Proporcionar pavimentos mais seguros, confortáveis e silenciosos.

A borracha moída de recapagem de pneu (B) proporciona ganhos de flexibilidade, coesão e resistência ao envelhecimento, tornando a mistura asfáltica mais resistente à fadiga e ao aparecimento de deformações (trilhas de rodas), aumentando a durabilidade do revestimento.

Os ligantes modificados com B têm viscosidade bem mais elevada que a de ligantes convencionais, que aliada à sua excelente coesão e flexibilidade, permite a sua utilização em misturas asfálticas especiais, tais como camadas porosas de atrito (CPA), Stone Mastic Asphalt (SMA) e Gap-Graded. Tais misturas proporcionam superfícies de pavimento com excelente macro-textura, o que se traduz em ganhos no atrito pneu-pavimento e na drenabilidade superficial, melhorando a visibilidade (anti-spray) e reduzindo os riscos de aquaplanagem em dias de chuva (ODA, *et al.* 2005).



3. MATERIAIS E MÉTODOS

No laboratório de ecocompósitos da engenharia mecânica (UFPA), os materiais pós-consumo industriais e domésticos, são triados e selecionados para reutilização na indústria. Um exemplo prático de reutilização é através da confecção de asfaltos modificados com materiais ecológicos, na qual é tema deste trabalho.

Os agregados utilizados para confecção do asfalto ecológico são: Seixos (S) que passam na peneira de malha quadrada nº 04 (figura 1a). Areia branca de cava (Ab), que passa na peneira nº 40 (figura 1b).

O ligante asfáltico (A), CAP 50/70 (Figura 1c), produzido pela PETROBRAS, oriundo do campo Fazenda Alegre, no estado do Espírito Santo e processado pela LUBNOR em Fortaleza.

O resíduo de madeira do tipo tatajuba (*Bagassa guianensis*) (T) foi colhido e cominuído até formar pó de serragem, de granulometria passante na peneira de malha quadrada nº 100 (Figura 1d).

A borracha moída de recapagem de pneu (B), extraída após o processo de recauchutagem, passante na peneira de malha quadrada nº 80 (Figura 1e).

Areia quartzosa (AQ) foi rejeitada como agregado, devido o que está descrito no manual de pavimentação do DNER (1996), o equivalente de areia deve ser maior ou igual a 55% para que o agregado miúdo possa ser utilizado em misturas betuminosas. Foi obtido um equivalente de areia de 22%, desta forma, a fração utilizada foi a passante em peneira de malha quadrada nº 200 (figura 1f) para confecção do composto com B e T.

O polímero polietileno de alta densidade pós-consumo (P) passante na peneira de malha nº 100 (figura 1g). O polietileno P foi inserido na superfície do asfalto para dar cor ao mesmo, no intuito de minimizar a capacidade de absorção de calor em superfícies asfálticas. A intenção é empregar o asfalto colorido em ciclovias, acostamentos, parques e na mudança de paisagem.



Figura 1 – Agregados graúdos, agregados miúdos, areia quartzosa, madeira e polímeros.

As curvas granulométricas foram obtidas contendo o composto AQ/B e T/AQ/B (Figura 2) para obter os teores de ligante em função dos limites recomendados pelo DNER, foi utilizada a faixa “C” da especificação DNER-ME 312/97, para camada de rolamento com 7% a 12% de asfalto.

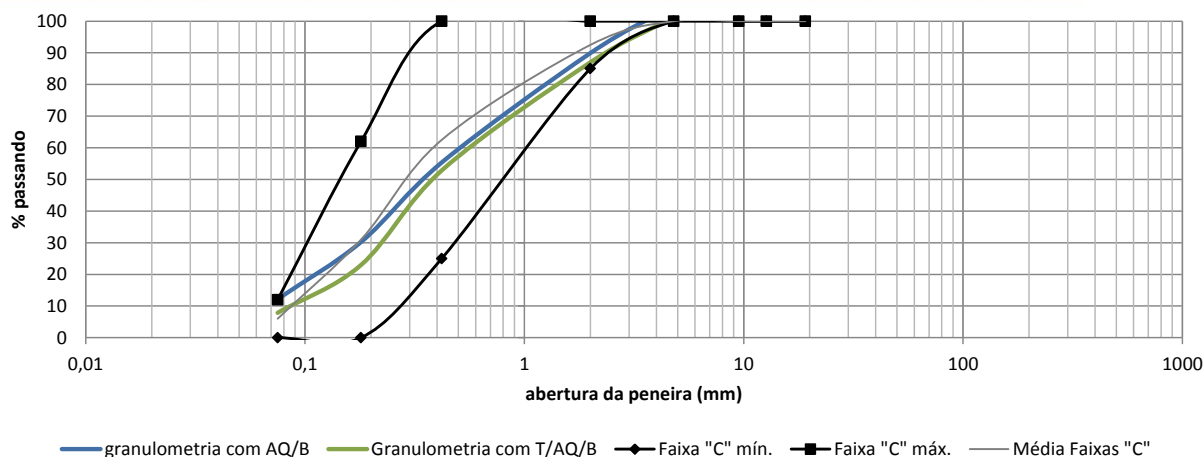


Figura 2 – Curva granulométrica de agregados (Seixo, areia branca, Areia vermelha, borracha de recapagem de pneu e madeira tatajuba).

O processamento da borracha moída de recapagem de pneu com areia quartzosa vermelha (AQ/B) foi feito na fração de 100/30 em peso.

A madeira foi introduzida no composto AQ/B, através do processo de cisalhamento, formando o composto T/AQ/B na fração de 20/2/10 em peso, escolhida empiricamente.

Os compostos AQ/B e T/AQ/B, foram processados em um agitador de alto torque microprocessado modelo Q250M1, a uma rotação de 200 rpm por 12 min. e submetida a banho ultratermostático, modelo 521/3DE, aquecida a óleo mineral a 140°C (Figura 3a). O processamento dos compostos AQ/B e T/AQ/B foram feitos através de uma haste helicoidal (Figura 3b) embutida no agitador de alto torque e um copo metálico encaixado em uma luva de teflon (Figura 3c) embutida no banho ultratermostático.

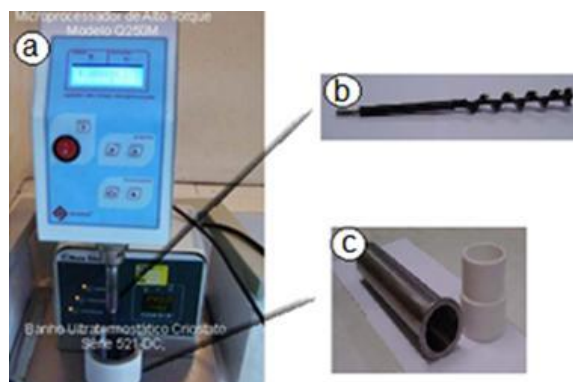


Figura 3 – a) Agitador alto torque microprocessado, banho ultra termostático; b) haste helicoidal; c) luva de teflon e copo metálico.

Para a produção de AQ/B e T/AQ/B misturados no ligante asfáltico foi utilizado um aquecedor a temperatura controlada a 180°C, a mistura foi feita via “úmida”, onde os compostos AQ/B e T/AQ/B são misturados no ligante asfáltico aquecido.

As dosagens foram constituídas de composto AQ/B e T/AQ/B (Tabela 1) misturadas ao ligante para confecção dos corpos-de-prova de escala reduzida. Os corpos-de-prova contêm 20g em peso, divididas em percentagens de material, dando ênfase ao ligante asfáltico (CAP 50/70) e o composto AQ/B e T/AQ/B na mistura; tem-se a_{CP}^b (a, percentagem em peso do composto AQ/B e T/AQ/B; b, percentagem em peso de CAP 50/70). As misturas betuminosas



foram feitas seguindo a norma DNER-ME 043/95, a temperatura de 180°C. Os compostos foram inseridos ao ligante asfáltico via úmida.

Tabela 1 - Dosagem em escala reduzida com 3%; 4,5%; e 6,0%; de pré-misturas AQ/B e T/AQ/B.

Dosagem (%) com AQ/B e T/AQ/B	$3CP^7$	$4,5CP^7$	$6CP^7$	$3CP^{7,5}$	$4,5CP^{7,5}$	$6CP^{7,5}$	$3CP^8$	$4,5CP^8$	$6CP^8$
S	48,00	47,50	47,00	47,50	47,50	47,50	48,00	48,00	46,50
Ab	42,00	41,00	40,00	42,00	40,50	39,00	41,00	39,50	39,50
A	7,00	7,00	7,00	7,50	7,50	7,50	8,00	8,00	8,00
AQ/B e T/AQ/B	3,00	4,50	6,00	3,00	4,50	6,00	3,00	4,50	6,00

O polietileno de alta densidade pós-consumo (P) foi inserido na superfície do asfalto para dar cor ao mesmo.

4. CONFECÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA E RESULTADOS

Este tópico faz uma síntese de asfaltos ecológicos confeccionados no laboratório de ecompositos da engenharia mecânica (UFPA). Na qual é utilizado um método em escala reduzida baseado no método Marshall convencional (DNER ME 043/95) para confecção dos corpos-de-prova de tamanho reduzido (2,54 cm de diâmetro e 2,19 cm de altura).

A massa asfáltica foi colocada em molde pré-aquecido e acomodada através de um bastão de aço. A energia de compactação foi de 75 golpes por face como preconizam as normas sobre a metodologia Marshall, em especial a DNER-ME 043/95, com frequências de 1 golpe por segundo, o soquete de dimensões reduzida (Figura 4a), possui peso de 74 g e 11,68 cm de altura de queda, baseado nas dimensões do soquete utilizado no método Marshall. Na base do molde, uma chapa pré-aquecida à temperatura de 180°C aquece o polímero P enquanto a massa asfáltica é compactada (Figura 4b), logo após, é feito o desmolde dos corpos-de-prova (Figura 4c).

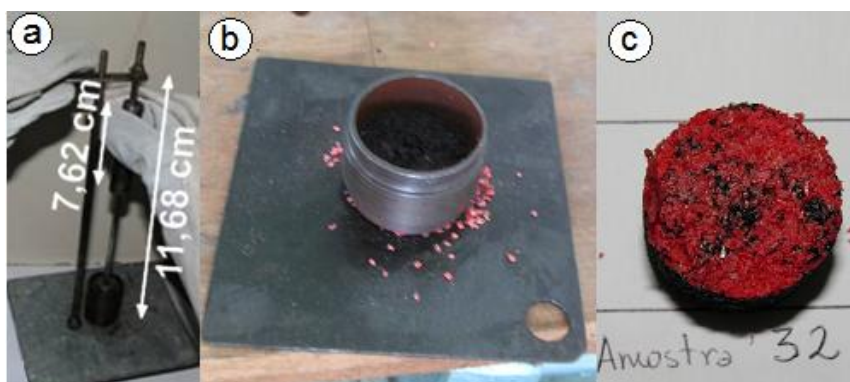


Figura 4 – a) compactador e molde em escala reduzida; b) massa asfáltica compactada em molde; c) corpo-de-prova após desmolde.



Nos ensaios mecânicos foram obtidos valores de resistência à compressão (RC) de corpos-de-prova com AQ/B e T/AQ/B (Tabela 2). Asfaltos modificados com composto T/AQ/B tiveram melhores resultados de resistência à compressão.

Tabela 2 – Resistência à compressão de asfaltos modificados.

RC (kgf/cm ²)	₃ CP ⁷	_{4,5} CP ⁷	₆ CP ⁷	₃ CP ^{7,5}	_{4,5} CP ^{7,5}	₆ CP ^{7,5}	₃ CP ⁸	_{4,5} CP ⁸	₆ CP ⁸
AQ/B	1,42	1,53	1,30	1,48	2,69	6,28	2,68	4,75	3,9
T/AQ/B	9,94	7,44	4,95	5,47	4,21	7,95	4,95	5,79	5,37

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O composto T/AQ/B inserido no ligante asfáltico auxilia no acréscimo de resistência a compressão entre os corpos-de-prova analisados. Desta forma, podemos associar o bom resultado com a inserção do resíduo de madeira tipo tatajuba e a camada polimérica na superfície dos corpos-de-prova.

O método de confecção de corpos-de-prova em escala reduzida é prático, facilita e acelera a obtenção dos mesmos em laboratório; em comparação ao método Marshall convencional (DNER-ME 043/95); desta forma, obtém-se resultados de resistência à compressão de forma mais rápida.

A utilização da borracha moída de recapagem de pneu, resíduo de madeira tatajuba e do polietileno de alta densidade pós-consumo são importantes para mitigar impactos ocasionados ao ambiente e uma alternativa de aplicação de materiais pós-consumo em asfaltos.

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq e CAPES pelo incentivo a pesquisa. Aqueles que trabalham no laboratório de ecompositos da Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HADIDY, A. I.; -QIU, T. Y. Effect of polyethylene on life of flexible pavements. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 1456–1464, n° 03, abr. 2008/ago. 2008.

AL-HADIDY, A. I.; -QIU, T. Y. Mechanistic analysis of ST and SBS-modified flexible pavements. *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 2941–2950, n° 08, ago. 2008/mar. 2009.

ATTAELMANAN, M.; FENG, C. P.; AI, A.-H. Laboratory evaluation of HMA with high density polyethylene as a modifier. *Construction and Building Materials*, v. 25, p. 2764–2770, n° 05, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043/95; Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.



_____. DNER-ME 312/97, Pavimentação – Areia-asfalto a quente. Rio de Janeiro, 1997.

_____. Manual de pavimentação. 2 ed. Rio de Janeiro, 1996.

MEYER, C. Concrete as a Green Building Material. Columbia University. New York: NY, 2005.

ODA, Sandra; NASCIMENTO, L. A. H.; EDEL, G. Aplicação de asfalto-borracha na Bahia. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador: IBP, 2005.

METHOD OF MAKING SPECIMENS IN SCALE REDUCED USING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MATERIALS

Abstract: *When we speak of waste recovery, the trend is to reuse materials that take years to deteriorate. Thus, the use of such material in asphalt mixtures is becoming increasingly common. The objective is to show a new method of making bodies of the test piece on a small scale using environmentally friendly materials in asphalt. The compound consists of wood waste tatajuba, sandy, ground rubber tire retreading inserted into the asphalt binder (AC 50/70) and high density polyethylene post consumer increases compressive strength among the specimens analysis. The alternative use of ground rubber retreading of tires, waste wood tatajuba and high density polyethylene post consumer is important to reduce impacts due to the environment and an alternative implementation of post-consumption materials in asphalt.*

Key-words: *AC 50/70, wood waste tatajuba, ground rubber tire retreading, rejected sandy as aggregate.*