



Rem: Revista Escola de Minas

ISSN: 0370-4467

editor@rem.com.br

Escola de Minas

Brasil

Botaro, Wagner Roberto; Rodrigues Castro, Samuel; Rodrigues Junior, Fausto; Cerantola, Andrea E.  
Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado,  
resíduos de pneu e lignina organossolve

Rem: Revista Escola de Minas, vol. 59, núm. 1, enero-marzo, 2006, pp. 117-122

Escola de Minas

Ouro Preto, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56416732015>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado, resíduos de pneu e lignina organossolve

Vagner Roberto Botaro

*Professor Adjunto do Departamento de Química/UFOP. E-mail: botaro@iceb.ufop.br*

Samuel Rodrigues Castro

*Aluno do Departamento de Química/UFOP. E-mail: samuc2000@yahoo.com.br*

Fausto Rodrigues Junior

*Mestrando do Programa de Pós-Graduação da REDEMAT/UFOP. E-mail: frj5@yahoo.com.br*

Andrea E. Cerantola

*Aluna do Departamento de Engenharia Civil/FUMEC. E-mail: aecerantola@uol.com.br*

### Resumo

O presente trabalho trata da obtenção e caracterização de blendas envolvendo matrizes asfálticas (CAP 20), em misturas com poliestireno reciclável (PS), pó de pneu (PPN) e lignina organossolve (LIG). Quando se adicionam polímeros à matriz asfáltica, pretende-se, principalmente, aumentar a impermeabilidade, impedindo a deterioração pela água, diminuir a fragilidade a baixas temperaturas e diminuir o desgaste por abrasão. As propriedades físicas, incluindo índice de penetração, ponto de amolecimento e índice de susceptibilidade térmica do CAP 20 modificado, foram analisadas e comparadas com o CAP 20 não modificado. Os resultados obtidos mostram que a adição de PPN, PS e LIG afeta as propriedades mecânicas das blendas formadas com o CAP 20, diminuindo os índices de penetração e aumentando os pontos de amolecimento de uma maneira geral.

**Palavras-chave:** asfalto, modificação, blendas, lignina, poliestireno, pneu.

### Abstract

*The present work describes the production and the characterization of blends involving mixtures of CAP 20 with recycled polystyrene, tire powder or organosolve lignin. The main objective related with the modification of the asphalt matrixes is to increase the impermeability impeding water deterioration, to reduce the fragility for low temperatures and to reduce the abrasion phenomena. The physical properties, including penetration index, softening point and index of thermal susceptibility were analyzed and then compared with CAP 20 matrix. The main results show that the addition of tire powder, polystyrene and lignin affect the mechanical properties of the blends when compared with CAP 20, showing a general decrease of penetration and a general improvement of the softening point after addition of modifiers.*

**Keywords:** asphalt, modification, blends, lignin, polystyrene, tire.

## 1. Introdução

Segundo a tradição, o asfalto é o mais antigo material impermeabilizante utilizado pelo homem. A obtenção do asfalto a partir da destilação do petróleo iniciou-se, nos Estados Unidos, em 1902, e sua utilização mais intensa, em serviços de pavimentação, começou em 1909 (Senço, 1997).

Os componentes do asfalto podem ser separados em asfaltenos e maltenos. Os asfaltenos são definidos como uma fração de coloração preta, que são insolúveis no *n*-heptano. Já os maltenos são constituídos de compostos saturados, compostos aromáticos e resinas, que são solúveis no *n*-heptano. A relação entre a composição de asfaltenos, maltenos e outros constituintes tem um efeito significante nas propriedades viscoelásticas dos asfaltos e, consequentemente, no desempenho das pastas que pavimentam as estradas (Morales et al., 2003).

O uso de asfaltos modificados por polímeros, para melhorar o desempenho do asfalto de pavimentação, tem sido observado ao longo do tempo (Lu & Isacsson, 1999). Quando existe uma compatibilidade entre a matriz asfáltica e o polímero, as propriedades das blendas formadas podem contribuir, de maneira efetiva, para a redução da formação das trilhas de roda, da desagregação do revestimento e do trincamento térmico. O uso de matriz asfáltica modificada por polímeros também aumenta a vida de fadiga do revestimento (Castro & Botaro, 2004).

As propriedades da matriz asfáltica modificada por polímeros dependem, diretamente das características e concentração dos polímeros e também da natureza da matriz asfáltica. Duas classes de polímeros típicos são usados para modificação de matrizes asfálticas, os elastômeros e os plastômeros (Lu & Isacsson, 1999).

De maneira geral, os elastômeros são utilizados para aumentar a resistência e a flexibilidade dos pavimentos, enquanto os plastômeros aumentam a rigidez e a estabilidade da blenda (Castro & Botaro, 2004).

Atualmente existe uma grande variedade de polímeros, que estão sendo utilizados na modificação de matrizes asfálticas. Entretanto o maior obstáculo no uso de matrizes asfálticas modificadas, na prática de pavimentação, é a tendência na separação de fases, devido a uma pobre compatibilidade entre o polímero e a matriz asfáltica (Jin et al., 2001).

Esse trabalho teve como objetivo a obtenção de blendas de CAP 20 modificadas com propriedades melhoradas, para a pavimentação, assim como a diminuição da geração de resíduos, uma vez que foram utilizados polímeros recicláveis, para a modificação do CAP 20.

## 2. Materiais e métodos

O PS utilizado, na produção das blendas, foi obtido por dissolução de resíduos de isopor em acetona. O produto solubilizado foi mantido em estufa termostatizada a 60°C até a completa evaporação do solvente. Em seguida, placas rígidas do polímero em questão foram produzidas, trituradas e pulverizadas por meio de um Pulverizador de Discos (FRITSCH-Vibrating Cup Mill Pulverisette 9).

A LIG foi gentilmente fornecida pela empresa DEDENIS.A., sendo extraída do bagaço da cana-de-açúcar pelo processo organossolve etanol/água. (Castro & Botaro, 2004).

O PPN utilizado foi gentilmente fornecido pela Centro-Oeste Asfaltos Ltda.

O CAP 20, que é o produto obtido após a destilação do petróleo com a separação das frações leves e intermediárias, foi gentilmente fornecido pela empresa paulista BetunelKock.

### 2.1 Produção das blendas

As blendas foram preparadas aquecendo-se o CAP 20 puro (aproximadamente 150°C). Em seguida, adicionou-se o agente modificador em pó ao CAP 20. A mistura foi agitada com um bastão de vidro, a fim de garantir uma maior homogeneidade das blendas. Após a comple-

ta homogeneização, a mistura foi vertida nos moldes dos ensaios de penetração e ponto de amolecimento.

Os corpos-de-prova, para ensaios de penetração e ponto de amolecimento (Anel e Bola), foram obtidos pelas normas específicas para cada ensaio descritas nos itens correspondentes.

A Tabela 1 apresenta as composições das amostras preparadas.

### 2.2 Ensaio de penetração

O ensaio de penetração é normalizado pela ABNT, DNER e AASHO, nas designações: MB-107/1971, DPT M3-64 e T 49, respectivamente (ABNT, 1998).

Esse ensaio permite medir a consistência do material asfáltico, pela penetração de uma agulha de dimensões padronizadas, em décimos de milímetros, submetida a uma carga preestabelecida, por determinado tempo e temperatura.

Nos ensaios realizados, empregaram-se 25°C, carga de 100g e tempo de 5 segundos (PAVITEST - Penetrômetro Universal Completo).

### 2.3 Ensaio de ponto de amolecimento (Anel e Bola)

Esse ensaio é normalizado pela AASHO e IPB/ABNT, nas designações T-53 e MB-164/1972 (DNER-ME 247, 1994), e visa a medir a evolução da consistência do material asfáltico, na medida em que a temperatura é alterada, e indica a que níveis de dureza os asfaltos têm uma certa consistência.

Consiste em introduzir o material asfáltico em um anel de latão padronizado e sobre a amostra betuminosa é colocada uma esfera de aço de 3,5g (PAVITEST - Aparelho de Ponto de Amolecimento com Copo de Becker). Submete-se o conjunto a um banho-maria, em que o líquido é aquecido a uma taxa de 5°C por minuto, até que o asfalto flua sob o peso da esfera e toque o fundo do recipiente. A temperatura, em que isso ocorre, é considerada como a de ponto de amolecimento do material asfáltico.

**Tabela 1** - Porcentagens relativas dos agentes de modificação empregados na composição das blendas

Blenda	Polímero	Asfalto (% em massa)	Polímero (% em massa)
CAP20PS1	PS	99,0	1,0
CAP20PS2	PS	98,0	2,0
CAP20PS3	PS	97,0	3,0
CAP20PS4	PS	96,0	4,0
CAP20PS5	PS	95,0	5,0
CAP20PS6	PS	94,0	6,0
CAP20LIG1	LIG	99,0	1,0
CAP20LIG2	LIG	98,0	2,0
CAP20LIG3	LIG	97,0	3,0
CAP20LIG4	LIG	96,0	4,0
CAP20LIG5	LIG	95,0	5,0
CAP20LIG6	LIG	94,0	6,0
CAP20PPN1	PPN	99,9	0,1
CAP20PPN2	PPN	99,8	0,2
CAP20PPN3	PPN	99,7	0,3
CAP20PPN4	PPN	99,6	0,4
CAP20PPN5	PPN	99,5	0,5
CAP20PPN6	PPN	99,4	0,6

## 2.4 Índice de susceptibilidade térmica

É o ensaio que verifica a influência das variações de temperatura na consistência do asfalto, correlacionando os dados obtidos, para os ensaios de penetração e ponto de amolecimento (item discussão).

## 3. Resultados e discussões

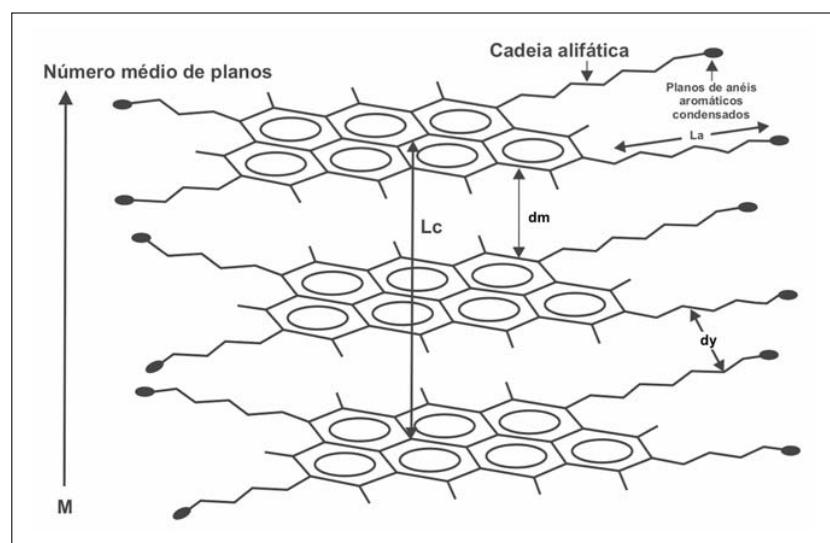
A modificação de matrizes asfálticas, por polímeros sintéticos, tem, como principal objetivo, a obtenção de blendas que possam apresentar maior resistência às condições de rodagem, maior aderência ao solo, maior impermeabilidade à água e misturas menos sensíveis às variações de temperaturas, quando comparadas às massas asfálticas sem modificação. De forma adicional, a adição de polímeros sintéticos busca pro-

duzir blendas que apresentem maior temperatura de amolecimento e menor temperatura de fratura a frio. Nesse sentido, os testes de ponto de amolecimento anel

e bola, penetração e susceptibilidade são fundamentais para a caracterização das blendas formadas. O SBS (copolímero de estireno butadieno), o SBR (borracha butadieno estireno), o EVA (copolímero de etileno e acetato de vinila), assim como o ABS, têm sido largamente empregado na produção dos asfaltos modificados (Lu & Isacsson, 1999). Em nossos estudos, o PS, o PPN e a LIG foram empregados na produção das blendas. A LIG é um rejeito industrial oriundo, principalmente, da produção do papel e da celulose e, até o momento, é utilizada quase que exclusivamente como combustível para as caldeiras que alimentam os processos de polpação industriais. A LIG foi escolhida, estrategicamente, por apresentar estrutura complexa e relativamente próxima, do ponto de vista macromolecular, à estrutura dos componentes do CAP (ver Figura 1), o que levou a uma miscibilidade apreciável e imprescindível para a qualidade da blenda. A similaridade de estruturas é devida à presença, em ambos os casos, de cadeias carbônicas aromáticas e alifáticas.

## 3.1 Ensaio de penetração

Os testes de penetração são considerados fundamentais para a classificação e entendimento das propriedades

**Figura 1** - Representação simplificada de cadeias poliméricas contidas no CAP.

dos asfaltos, embora, nos dias atuais, a viscosidade cinemática seja importante e complementar para esse fim. Os resultados dos testes de penetração universal apresentados são as distâncias (em décimos de mm, dmm) que a agulha-padrão penetra, verticalmente, na amostra. O erro da medida para os resultados de penetração é de 0,5 dmm. A precisão do penetrômetro é dada em dmm. De uma maneira geral, pode ser observada uma tendência à diminuição do índice de penetração com o aumento da concentração de PS (Figura 2).

O PS é um polímero relativamente rígido à temperatura ambiente, quando comparado a outros termoplásticos comuns. Essa rigidez do PS é incorporada à blenda, que passa a ser mais resistente à penetração da agulha, quando comparada ao CAP 20, durante os testes de penetração universal. Finalmente, a adição de cadeias longas e lineares de PS modifica o comportamento plástico da blenda de CAP20PS, indicando um aumento da rigidez do material. Esse resultado é importante, pois pode contribuir para um aumento da resistência do material em condições de rodagem a temperaturas ambientes mais elevadas. Resultados semelhantes foram também observados por Jin e colaboradores (Jin et al., 2001), em estudos envolvendo misturas de matrizes asfálticas e poliestireno.

Para o caso da LIG, a inclusão de um grande número de anéis aromáticos, presentes em sua estrutura, contribui para aumentar a rigidez do material (figura 3). Os dados relativos ao comportamento das blendas de CAP20LIG mostram uma tendência geral de diminuição do índice de penetração, em função do aumento da concentração da LIG.

De maneira oposta ao apresentado pelas demais blendas (Figuras 2 e 3), foi observado um aumento geral da penetração, em função do aumento do teor de PPN nas misturas (Figura 4). A adição de partículas elastoméricas, como as do

PPN, pode levar a uma possível expansão da estrutura da blenda, aumentando as microtrincas, permitindo o aparecimento de falhas e, consequentemente, aumentando os índices de penetração, com o aumento da concentração das partículas de PPN. De maneira complementar, o PPN utilizado é heterogêneo, em relação à distribuição de partículas, apresentando heterogeneidade apreciável. A adição de partículas elastoméricas com larga distribuição de tamanhos contribui para o aumento da heterogeneidade da blenda, provocando um comportamento oscilante, em relação aos dados de penetração, em função da concentração. Devido à baixa densidade do material, quantidades inferiores aos demais agentes de modificação foram empregadas (máximo 0,6%, em relação a quantidade de CAP 20).

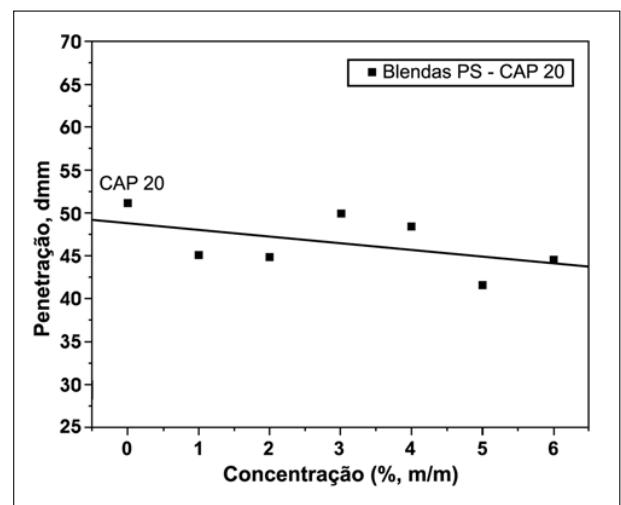


Figura 2 - Ensaios de penetração envolvendo as blendas de PS e CAP 20.

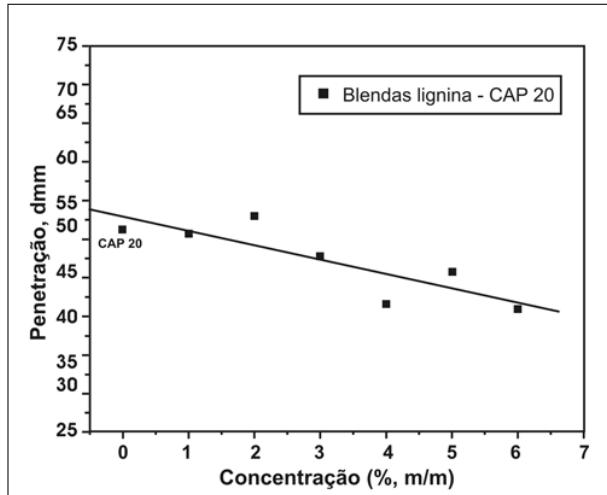


Figura 3 - Ensaios de penetração envolvendo as blendas de LIG e CAP 20.

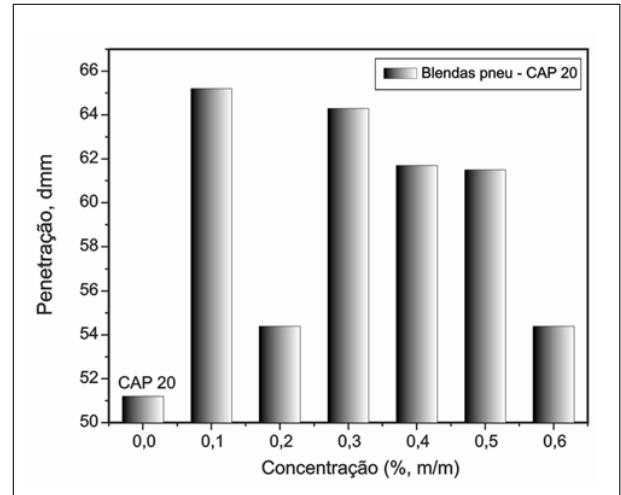


Figura 4 - Ensaios de penetração envolvendo as blendas de PPN e CAP 20.

### 3.2 Ensaio de ponto de amolecimento (anel e bola)

O ensaio tem, como principal objetivo, a determinação da temperatura em que as blendas tornam-se fluidas. Os materiais asfálticos são misturas de asfaltenos e maltenos e outros elementos, em proporções variáveis, e que formam uma pasta relativamente consistente. Os maltenos e os asfaltenos apresentam pontos de fusão diferenciados e a mistura desses constituintes leva a um valor médio do ponto de amolecimento para o CAP 20 empregado nos estudos (52,9 °C - Tabela 2)

O ensaio de anel e bola visa a medir a evolução da consistência da amostra em função da temperatura, podendo ser correlacionada com a dureza do material. Os resultados apresentados na Tabela 2 mostram um acréscimo nos pontos de amolecimento das blendas, em comparação ao CAP 20, sendo o mais considerável o aumento da temperatura de amolecimento da amostra que contém PS como agente modificador. O PS é um polímero

relativamente estável, apresentando temperatura de amolecimento superior a 100°C, o que é suficiente para aumentar a temperatura de amolecimento da blenda, visto que o CAP 20 apresenta amolecimento inferior a 53°C.

O aumento da temperatura de amolecimento do material é um importante fator para avaliação dos comportamentos das blendas, pois pode permitir uma aplicação das misturas em condições de rodagem com temperaturas ambientes mais elevadas, sem perda das propriedades mecânicas das mesmas. Tendo como objetivo o aumento dos pontos de amolecimento, pode-se concluir que o mesmo foi alcançado com a adição dos polímeros citados nas devidas percentagens, fato que pode contribuir para a melhoria do desempenho do asfalto modificado para fins de pavimentação.

### 3.3 Índice de susceptibilidade térmica

A Tabela 3 apresenta os valores de índice de susceptibilidade térmica, calculados a partir dos ensaios de penetração e de ponto de amolecimento (Figuras 2, 3 e 4 e Tabela 2, respectivamente). O índice de susceptibilidade térmica correlaciona as variações de temperatura e a consistência das misturas asfálticas. Asfaltos pouco susceptíveis tornam-se duros e quebradiços, em condições de baixas temperaturas. Asfaltos muito susceptíveis modificam sua consistência para pequenas variações de temperatura. O índice mais aceito é o P.V.D. - Pfeiffer-van Doormal (Senço, 1997), que relaciona nos índices de penetração a 25°C e os respectivos pontos de amolecimento, de acordo com a fórmula:

$$\text{Índice P.V.D.} = [500 \cdot (\log \text{Pen}) + 20 \cdot (T^{\circ}\text{C}) - 1951] / [120 - 50 \cdot (\log \text{Pen}) + (T^{\circ}\text{C})] \text{ (Senço, 1997).}$$

Onde:

Pen = penetração em dmm.

T°C = temperatura média de amolecimento do material.

A partir dos dados de índice de susceptibilidade térmica para as amostras analisadas, pode-se concluir que todos estão compreendidos na faixa de -2 e +2 e que correspondem a amostras asfálticas que apresentam elasticidade, sendo denominadas tipo sol ou betumes normais (Senço, 1997). Esses tipos de asfaltos são próprios aos serviços de pavimentação. Valores maiores que +2 correspondem a asfaltos pouco susceptíveis e que apresentam elasticidade, enquanto valores menores do que -2 são relacionados a asfaltos muito susceptíveis e com comportamento viscoso.

**Tabela 2** - Resultados obtidos para os ensaios de ponto de amolecimento (anel e bola) realizados para o CAP 20, blendas de CAP 20 com 0,6 % de PPN, CAP 20 com 6 % de PS e CAP 20 com 6% de LIG.

Amostras	Ensaio I (± 0,5 °C)	Ensaio II (± 0,5 °C)	Ponto de Amolecimento Médio (T, °C)
CAP20	52,8	53,0	52,9
CAP20PPN6	54,7	55,0	54,9
CAP20LIG6	54,0	54,5	54,3
CAP20PS6	57,7	58,0	57,9

**Tabela 3** - Cálculo do Índice de Susceptibilidade Térmica.

Amostras	Penetração a 25 °C (dmm)	Ponto de Amolecimento Médio (T, °C)	Índice P.V.D.
CAP20	51,2	52,9	- 0,44
CAP20PPN6	54,4	54,9	0,17
CAP20LIG6	41,0	54,3	- 0,63
CAP20PS6	44,6	57,8	0,31

### 4. Conclusão

Os resultados obtidos, até o momento, mostram que a adição de PS, LIG ou PPN afetam as propriedades mecânicas das blendas formadas com o CAP 20. Após modificação, as blendas apre-

sentaram aumento dos pontos de amolecimento e diminuição dos índices de penetração, em função do aumento da concentração de PS ou LIG, permanecendo na faixa de índice de susceptibilidade térmica aceitável. Entretanto, ainda é necessária a realização de análises por técnicas, como ensaios Marshall e viscosidade Saybolt-Furol, a fim de obter informações complementares em termos de propriedades mecânicas das blendas.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem a REDEMAT - UFOP e a FAPEMIG, pelo financiamento dos equipamentos de análise de asfaltos.

## 6. Referências bibliográficas

- ABNT. *Materiais betuminosos - determinação da penetração*. NBR 6576. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil. 1998.
- CASTRO, S. R., BOTARO, V. R. *Modificação de misturas asfálticas: empregos de polímeros recicláveis e melhoria das condições de pavimentação das estradas de Minas Gerais*. DEQUI-UFOP, 2004. (Relatório de Iniciação Científica).
- DNER-ME 247. *Determinação do ponto de amolecimento (método do anel e bola)*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Método de Ensaio. Brasil. 1994.
- JIN, H., GAO, G., ZHANG, Y. et al. Improved properties of polystyrene-modified asphalt through dynamic vulcanization. *Polymer Testing*, v. 21, p. 633-640, 2002.
- LU, X., ISACSSON, U. Modification of road bitumens with thermoplastic polymers. *Polymer Testing*, v. 20, p. 77-86, 2001.
- MORALES, M. G., PARTAL, P., NAVARRO, F. J., et al. Viscous properties and microstructure of recycled eva modified bitumen. *Fuel*, v. 83, p.31-38, 2004.
- SENÇO, W. DE. *Manual de técnicas de pavimentação*. São Paulo: Ed. Pini, 1997. v.1, 746p.

Artigo recebido em 13/07/2005 e  
aprovado em 16/12/2005.

Descubra as muitas informações da:  
**Geologia, Mineração,  
Metalurgia & Materiais  
e Engenharia Civil.**



**Assine e  
publique  
na Rem**

Conheça o nosso novo site: **www.rem.com.br**