



86

MISSÃO INSTITUCIONAL

A Missão do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM é desenvolver tecnologia para o uso sustentável dos recursos minerais brasileiros.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minero-metalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000 m² de área construída, que inclui 22 laboratórios, 3 usinas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 29 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 720 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minero-metalúrgico, químico e de materiais.



Ministério da
Ciência e Tecnologia

ISBN 85-7227-245-3



9 788572 272452

SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

Utilização do Calcário do Cariri Cearense como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica

ROBERTO CARLOS DA C. RIBEIRO

JULIO CESAR GUEDES CORREIA

PETER RUDOLF SEIDL

JORGE BARBOSA SOARES

FRANCISCO WILSON HOLANDA VIDAL

LIVIA PINHEIRO DE ARAUJO



SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

**Utilização do Calcário do Cariri Cearense como
Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

José Alencar Gomes da Silva

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Sérgio Rezende

Ministro da Ciência e Tecnologia

Luís Manuel Rebelo Fernandes

Secretário Executivo

Avílio Franco

Secretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Adão Benvindo da Luz

Diretor do CETEM

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

Zuleica Carmen Castilhos

Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

João Alves Sampaio

Coordenador de Processos Minerais

Antônio Rodrigues de Campos

Coordenador de Apoio à Micro e Pequena Empresa

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Cosme Antonio de Moraes Regly

Coordenador de Administração

SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

ISSN 0103-7382 ISBN 85-7227-245-2

STM-86

Utilização do Calcário do Cariri Cearense como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica

Roberto Carlos da C. Ribeiro

Doutor, CETEM.

Julio Cesar Guedes Correia

Doutor, CETEM.

Peter Rudolf Seidl

Ph. D., UFRJ – ESCOLA DE QUÍMICA.

Jorge Barbosa Soares

Ph. D., UFCE.

Francisco Wilson Holanda Vidal

Doutor, CETEM.

Livia Pinheiro de Araujo

Graduanda em Engenharia Química.

CETEM/MCT

2006

SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

Marisa Bezerra de M. Monte

Editor

Cláudio Schneider

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Arnaldo Alcover Neto (CETEM), Fernando Freitas Lins (CETEM), Regina Carrisso (CETEM), Reiner Neumann (CETEM), Ronaldo Luiz Correia dos Santos (CETEM), Achilles Junqueira Bourdot Dutra (UFRJ), Antonio E. Clark Peres (UFMG), José Aury de Aquino (CDTN), José Farias de Oliveira (UFRJ), Lino Rodrigues de Freitas (CVRD), Luciano Tadeu da Silva Ramos (CVRD), Mário Rui Machado Leite (IGM-Portugal), Maurício Leonardo Torem (PUC-Rio)..

A Série Tecnologia Mineral publica trabalhos na área minero-metalúrgica. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes dos projetos desenvolvidos no CETEM.

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Jackson de Figueiredo Neto

Coordenação editorial

Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas

Revisão

Ana Sofia Mariz

Capa e Editoração eletrônica

Utilização do calcário do cariri cearense como agregado mineral em pavimentação asfáltica/Roberto Carlos de C. Ribeiro et al. — Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

34p. (Série Tecnologia Mineral, 86)

1. Asfalto 2. Agregado mineral. 3. Pavimentação asfáltica.
4 Calcário I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Ribeiro, Roberto Carlos de C. III Série.

CDD – 666.893

SUMÁRIO

RESUMO/ABSTRACT ▶ 7

1 | INTRODUÇÃO ▶ 9

2 | OBJETIVO ▶ 12

3 | MATERIAIS E MÉTODOS ▶ 13

3.1 | Caracterização dos Agregados Minerais ▶ 13

3.2 | Avaliação da Interação Química CAP/Agregado Mineral ▶ 17

3.3 | Avaliação da Resistência Mecânica da Mistura Asfáltica ▶ 19

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO ▶ 21

4.1 | Avaliação dos Agregados Minerais ▶ 21

4.2 | Avaliação da Interação com os Asfaltos ▶ 24

4.3 | Avaliação da Resistência Mecânica ▶ 27

5 | CONCLUSÕES ▶ 29

6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ▶ 30

RESUMO

A região do Cariri cearense se apresenta como um importante pólo mineral, no que tange à sua rica reserva de calcário sedimentar laminado e cristalino, abrangendo principalmente os municípios de Santana do Cariri e Nova Olinda (calcário laminado) e Altaneira e Farias Brito (calcário cristalino). O calcário cristalino é extraído e processado em fornos tipo caieiras e, em sua grande maioria, é utilizado na indústria de cal. Este trabalho buscou estudar uma outra aplicação para este calcário cristalino, optando-se pela sua utilização como insumo na pavimentação asfáltica, como agregado mineral, sendo escolhido o calcário da região de Farias Brito. Neste estudo de avaliação foram utilizados cinco diferentes tipos de asfaltos oriundos de refinarias brasileiras, que serão chamados de A, B, C, D e E. Para o agregado mineral, foram realizados ensaios preconizados pelo Departamento de Infra-estrutura de Transporte – DNIT, sendo: análise de distribuição granulométrica, determinação das densidades real e aparente, índice de forma e abrasão *Los Angeles*. Além disso, foram realizados ensaios de dureza, desgaste, compressão e flexão. Para o processo de interação físico-química com diferentes asfaltos, foram realizados ensaios de adsorção química, adesividade, potencial zeta, ângulo de contato e área superficial. Por fim, foram

ABSTRACT

The area of Cariri from Ceará comes as an important mineral pole, with respect to rich limestone reservation to silt up laminated and crystalline, including the municipal districts of Santana do Cariri and Nova Olinda mainly (laminated limestone) and Altamira and Farias Brito (crystalline limestone). The crystalline limestone is extracted and processed in ovens type limepits, and in your great majority it is used in the industry of whitewash. This work looked for to study another application for this crystalline limestone, being opted for your use as input in the paving asphaltic, as mineral aggregate, for that was chosen the limestone of Farias Brito area. In this evaluation study five different types of asphalts originating from of Brazilian refineries were used, that they will be called of the A, B, C, D and E. To the mineral aggregate rehearsals were accomplished extolled by the Department of Infrastructure of Transport - DNIT, being: analysis of distribution granulometrical, determination of the real and apparent densities, form index and abrasion *Los Angeles*. Besides, rehearsals of hardness, wear and tear, compression and flexing were accomplished. For the process of physiochemical interaction with different asphalts rehearsals of chemical adsorption, adhesiveness, potential zeta, contact angle and superficial area were

preparados corpos de prova de misturas asfálticas, a fim de se verificar seu comportamento mecânico (LOTTMAN). Pôde-se concluir que o calcário de Farias Brito apresentou resultados adequados de resistência mecânica, como dureza, compressão e abrasão. Porém, quando se verificou o processo de interação química com diferentes asfaltos, verificou-se que o desempenho do referido calcário não foi satisfatório. Quando se avaliou a mistura asfáltica gerada com o calcário e cada um dos cinco asfaltos, observou-se que nenhum dos resultados atendeu as especificações requeridas para utilização em pavimentação, mas, quando se utilizou um melhorador de adesevidade, a interação asfalto/calcário obteve uma significativa melhoria.

Palavras-chave: calcário cristalino, asfaltos, CAPS.

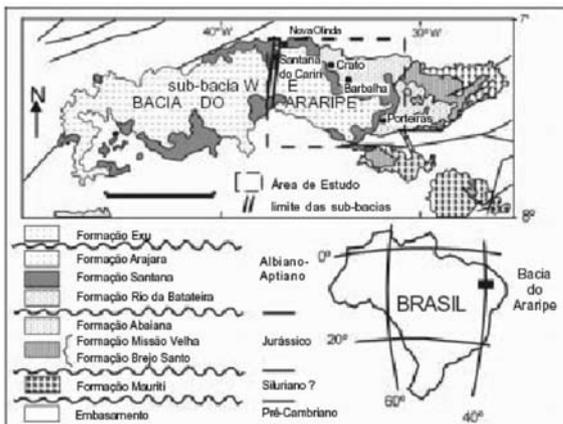
accomplished. Finally, bodies of proof of asphaltic mixtures were accomplished, in order to if your to obtain mechanical behavior (LOTTMAN). It could be concluded that Farias Brito limestone is presented good results of mechanical resistance, as hardness, compression and abrasion. However, when the process of chemical interaction was verified with different asphalts, verified itself the badly acting of such rock. When the asphaltic mixture was evaluated generated with the limestone and any one of the five asphalts, was observed that none of the results assisted the specifications requested for use in paving, but when an adesevity dope, the interaction asphalt-mineral aggregate was used obtained a significant improvement.

Keywords: Limestone, asphalt pavement, asphalt.

1 | INTRODUÇÃO

A região do Cariri cearense se apresenta como um importante pólo mineral, no que tange à sua rica reserva de calcário laminado que, segundo dados do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, possui cerca de 97 milhões de metros cúbicos, equivalentes a 241 milhões de toneladas, englobando 13 municípios, sendo Nova Olinda e Santana do Cariri os mais importantes, economicamente, da região sob o ponto de vista de produção mineral. Além destes, nos municípios de Farias Brito e Altaneira, o calcário cristalino é extraído e processado em fornos tipo caieiras, em sua grande maioria utilizados na indústria de cal, podendo atingir outros mercados, tais como, correção de solos e produtos calcinados para a indústria de tintas, entre outros.

A Bacia do Araripe é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil. Sua área de ocorrência não se limita à Chapada do Araripe, estendendo-se também pelo Vale do Cariri, num total de aproximadamente 9.000 km². Em seu estudo Rand e Manso (1984) propuseram dividir a Bacia do Araripe em duas sub-bacias, oeste (W) e leste (E) (Figura 1).



Fonte: Rand e Manso (1984).

FIGURA 1: Mapa de localização da Bacia do Araripe e área de estudo proposta.

Nos municípios de Farias Brito e Altaneira, atualmente, a lavra é feita a céu aberto, de forma errática e rudimentar, por produtores clandestinos, sem nenhum critério técnico no desmonte de rocha ao longo do maciço calcário calcítico.

O material desmontado da encosta por explosões é transportado por animais até as estradas vicinais e dali em caminhões até os fornos rudimentares instalados à margem do rio Cariús, visando, com isso, obter um produto calcinado. A Figura 2 apresenta uma vista parcial do maciço de calcário.



FIGURA 2: Vista parcial do maciço de calcário.

Todo o produto da lavra é calcinado em caeiras artesanais instaladas desordenadamente, sem nenhuma preocupação com as condições de segurança do trabalho e com o meio ambiente. Os fornos são bastante deficientes, produzindo cal virgem hidratada de baixa qualidade.

As Figuras 3A e 3B apresentam, respectivamente, a vista geral do forno e a vista interna do forno já carregado com minério para a queima com lenha.



(A)

(B)

FIGURA 3: (A) Vista geral e (B) vista interna de um forno.

A rocha calcária dessa região apresenta uma elevada resistência mecânica, especialmente pela sua formação cristalina, que lhe confere elevada dureza. Com isso, uma utilização mais adequada deve ser avaliada.

Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que, além do ligante asfáltico, denominado, no Brasil, cimento asfáltico de petróleo (CAP), é composto por mais de 95%, em massa, de agregados minerais.

Dessa forma, este calcário que apresenta alta resistência mecânica, poderia ser utilizado como agregado mineral na mistura asfáltica, proporcionando o desenvolvimento da pavimentação asfáltica da região e, conseqüentemente, contribuindo com a melhoria no escoamento de mercadorias e transporte de pessoas.

2 | OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal verificar a potencialidade de utilização do calcário cristalino oriundo do município de Farias Brito, na região do Cariri, no Ceará, como um novo insumo mineral na composição da massa asfáltica.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho foram utilizados cimentos asfálticos de petróleo (CAPS) oriundos de refinarias brasileiras, que serão chamados de A, B, C, D e E; e um agregado mineral, calcário.

Para o agregado mineral foram realizados ensaios preconizados pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT, sendo: análise de distribuição granulométrica, determinação das densidades real e aparente, índice de forma e abrasão Los Angeles. Além disso, foram realizados ensaios de dureza, desgaste, compressão e flexão.

Para o processo de interação físico-química com diferentes asfaltos foram realizados ensaios de adsorção química, adesividade, potencial zeta, ângulo de contato e área superficial.

Por fim, foram preparados corpos de prova de misturas asfálticas (calcário + cada um dos cinco CAPS), a fim de se verificar seu comportamento mecânico (LOTTMAN).

3.1 | Caracterização dos Agregados Minerais

O agregado mineral utilizado neste trabalho é um calcário cristalino, que foi britado nas frações: brita 0 e brita 1 (agregados graúdos) e pó de pedra (agregado miúdo).

3.1.1 ANÁLISE QUÍMICA

A análise química foi realizada pela Coordenação de Análises Minerais – COAM do Centro de Tecnologia Mineral.

3.1.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A classificação granulométrica foi realizada a seco numa série de dez peneiras da série *Tyler* (1/2", 3/8", 4 #, 8 #, 16 #, 30 #, 50 #, 80 #, 100 # e 200 #). A torre de peneiras foi agitada mecanicamente por 10 minutos. Após esse tempo, o material retido em cada peneira foi pesado para que se pudesse calcular a distribuição granulométrica do agregado graúdo ou miúdo e enquadrar o material às especificações do DNIT.

3.1.3 ABRASÃO LOS ANGELES

O ensaio de abrasão utilizando o método Los Angeles foi realizado em um moinho de bolas, marca Electra Motors Dresser, modelo 8E-64300 OJ, no qual somente os agregados graúdos foram utilizados.

Primeiramente verificou-se a distribuição granulométrica de cada um (britas 0 e 1) e analisou-se em quais peneiras havia maior retenção de material. De posse destas informações, peneirou-se novamente os materiais até que 2.600g estivessem retidos nessas peneiras. O material foi então lavado e seco em estufa, a 115°C, por 1 hora. Após esse tempo, 2500g de cada agregado livre de poeira foram adicionados ao aparelho, que ficou em operação a 500 rpm, por 40 minutos. Após esse período, todo material foi peneirado (2 mm), sendo o material retido na peneira lavado, seco e pesado.

Segundo o DNIT, valores inferiores a 40% de finos gerados classificam o agregado como apto, segundo a resistência à abrasão.

3.1.4 DENSIDADE

Para determinar as densidades real e aparente de agregado graúdo (britas 0 e 1) utilizou-se a norma ME - 081/94, preconizada pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER. De acordo com o ensaio, 1.000 g de cada agregado graúdo (britas 0 e 1) foram lavados, até que toda poeira fosse retirada. O material foi retirado da água e seco em pano úmido para obtenção do Peso Úmido (P_u). A seguir o material foi colocado em uma cesta acoplada à balança, que é imersa em água, para obtenção do Peso Imerso (P_i). Retirado da cesta, o agregado foi seco em estufa e pesado novamente para obtenção do Peso Seco (P_s).

Por meio das equações 1 e 2, pôde-se obter os valores de densidade aparente e real para os agregados graúdos.

$$D_A = P_s / P_u - P_i \quad (1)$$

$$D_R = P_s / P_s - P_i \quad (2)$$

Para a determinação da densidade do agregado miúdo, utilizou-se a metodologia descrita em ME 084/94, estabelecida pelo DNER. De

acordo com o ensaio, os agregados miúdos ficaram em decantação, na presença de água, por 24 horas. Após esse período, a água foi retirada com o auxílio de vácuo. O material foi então seco em estufa e 500g foram colocados em um picnômetro, que foi completado com água até seu menisco e pesado (P_1).

O material foi posteriormente retirado do picnômetro, seco e pesado novamente, obtendo-se assim o peso seco (P_5). O picnômetro foi cheio com água e pesado para obtenção de (P_2). Os valores de densidade aparente e real foram obtidos, respectivamente, por meio das equações 3 e 4.

$$D_a = P_s / P_2 + A - P_1 \quad (3)$$

$$D_r = P_s / P_2 + P_s - P_1 \quad (4)$$

3.1.5 ÍNDICE DE FORMA

Para determinação da forma dos agregados graúdos utilizou-se a metodologia descrita na norma ASTM D4791, utilizada pelo DNIT. De acordo com a norma, a amostra é primeiramente peneirada segundo a especificação da análise granulométrica (DNER-ME 083/98). Utiliza-se o material retido na peneira de nº 4, até que se obtenha uma quantidade de aproximadamente 100 partículas.

O ensaio propriamente dito consiste em testar, em um calibrador (Figura 4), cada uma das partículas retidas na peneira de nº 4 e classificá-las em um dos seguintes grupos: 1 – plana, 2 – alongada e 3 – nem plana nem alongada. Utilizou-se o calibrador posicionado da seguinte maneira:

- ▶ Teste de partícula alongada: posicionou-se a abertura maior igual ao comprimento da partícula (Figura 4A). A partícula é alongada se a largura puder ser colocada dentro da abertura menor.
- ▶ Teste para partícula plana: posicionou-se a maior abertura igual à largura da partícula (Figura 4B). A partícula é plana se a espessura puder ser colocada na abertura menor.
- ▶ Depois que as partículas foram classificadas conforme descrito acima, determinou-se a proporção da amostra em cada grupo por contagem.



(A)



(B)

Fonte: Marques (2001).

FIGURA 4: (A) Dispositivo Calibrador de Forma; (B) Passagem Manual dos Agregados.

3.1.6 DUREZA KNOOP

O ensaio de dureza seguiu a metodologia descrita em Almeida e Chaves (2002), segundo a qual uma placa de rocha polida com 7x7 cm foi submetida a 40 impressões com ponta de diamante, sob carga de 200g, utilizando-se um microdurômetro e realizando-se impressões perpendiculares à estruturação da rocha.

3.1.7 COMPRESSÃO UNIAXIAL

O ensaio de compressão uniaxial seguiu a norma NBR 12767, estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e descrita em Almeida e Chaves (2002), sendo realizado com oito corpos de prova de formato cúbico, no estado seco.

3.1.8 ENSAIOS DE FLEXÃO

O ensaio de flexão foi realizado segundo a norma NBR 12763/92, também preconizado pela ABNT, em corpos de prova retangulares e secos.

3.2 | Avaliação da Interação Química CAP/Agregado Mineral

Para esta etapa, utilizou-se a fração de agregado miúdo (abaixo de 100 mesh).

3.2.1 ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Primeiramente elaborou-se uma curva de calibração utilizando-se as soluções de CAPs, maltenos e asfaltenos de concentração 1,0% p/v, das quais foram retiradas alíquotas para preparo de soluções com as seguintes concentrações: 0,0005, 0,001 e 0,005 mg/L em tolueno. Essas soluções foram analisadas em um espectrofotômetro de Ultravioleta – visível, marca LAMOTTE, modelo SmartSpectro/spectrol, em comprimento de onda fixo em 402 nm (GONZÁLEZ e MIDDEA, 1987), obtendo-se assim a curva de calibração (concentração inicial versus absorbância) para cada CAP e seus respectivos constituintes. A partir daí, pela lei de Beer, pôde-se obter equações de reta que foram empregadas para se verificar os valores de adsorção do CAP, ou um de seus constituintes, com o agregado mineral.

Nos ensaios de adsorção, pesou-se 0,5 g de agregado mineral que consistia de uma mistura de brita 1, pedrisco, pó de pedra e areia, que foram britados e peneirados (100 mesh), respeitando-se as normas de dosagem Marshall estabelecidas pelo DNIT (DNER-ME 043/95) e foram colocados em 10 tubos de centrífuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de CAP nas seguintes concentrações: 0,0005; 0,001; 0,0015; 0,0025; 0,005; 0,0075; 0,01; 0,0125; 0,015 e 0,02 mg/L. A seguir, os tubos foram agitados em mesa agitadora Shaker, marca Ika Labotechnik, modelo HS501 digital, durante quatro horas, a 200 rpm. Após esse período, o material foi centrifugado durante 30 minutos, a 3000 rpm, em centrífuga marca FANEM, modelo 209. Cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta - visível, em comprimento de onda fixo em 402 nm.

Com isso, pôde-se obter os valores de absorbância após a adsorção nos agregados minerais. De posse destes valores e de cada equação de reta, pôde-se obter os valores das concentrações finais e,

conseqüentemente, das adsorções que cada CAP ou seu constituinte teve com o agregado mineral. Com esse experimento, foi possível classificar qual dos constituintes do cimento asfáltico, asfalteno ou malteno, exerceu maior influência na adsorção com os agregados.

3.2.2 ENSAIO DE ADESIVIDADE

O ensaio de adesividade foi realizado segundo o método DNER-ME 078-94, utilizando-se cada um dos cinco CAPS e todos os agregados graúdos. Este ensaio avalia o deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura CAP-brita é imersa em água destilada, a 40°C, durante 72 horas. Os resultados são caracterizados pelo deslocamento total, deslocamento parcial ou não deslocamento da película

3.2.3 POTENCIAL ZETA

Com base nos estudos de Middea e Gonzáles (1987), realizaram-se estudos de mobilidade eletroforética para verificação do efeito do pH no processo de interação CAP e seus constituintes com os agregados minerais.

Para obtenção das medidas de mobilidade eletroforética foi utilizado um aparelho Rank – Bros. No processo utilizou-se a temperatura de 25°C e a polaridade dos eletrodos invertida entre várias medições, a fim de minimizar a polarização dos mesmos.

As dispersões dos minerais foram preparadas a partir da fração + 400 #, em KNO_3 (1mM). O pH foi modificado com ácido nítrico e hidróxido de sódio. Para efetuar as medições da mobilidade eletroforética, as dispersões foram mantidas sob agitação durante 5 minutos. Em seguida, foram deixadas em repouso por mais 5 minutos para se chegar ao equilíbrio. Posteriormente, mediu-se o valor de pH e fez-se a leitura

3.2.4 ÂNGULO DE CONTATO

Os ângulos de contato da região interfacial mineral-CAP-água (ou ar) foram medidos em goniômetro Ramé-Hart Inc, utilizando-se uma modificação da técnica da gota cativa, descrita em Adamson

(1990). Uma gota de tolueno, formada no final de um tubo de vidro medindo 3 mm de diâmetro interno, com a ajuda de uma microsseringa, foi deixada em contato com uma solução aquosa por 3 minutos, até atingir o equilíbrio, sendo, em seguida, colocada cuidadosamente em contato com o mineral em estudo. Após cerca de 20 minutos, foram feitas fotografias da região de contato sólido-líquido e, conseqüentemente, o ângulo de contato foi medido pelo perfil da gota em contato com o sólido. Como na técnica original da bolha cativa, os ângulos de avanço são medidos aumentando-se o tamanho da gota e os ângulos de retrocesso são medidos diminuindo-se a gota. Contudo, esse método mostra limitações para ângulos acima de 90°. Por essa razão, os autores indicam a utilização de tolueno no capilar, para medir o ângulo de retrocesso, e água, para o de avanço. Essa modificação permite determinar os ângulos de retrocesso e avanço, medindo-se os ângulos agudos, para o qual o método é mais eficiente.

3.2.5 ÁREA SUPERFICIAL

Para a realização deste ensaio, avaliaram-se as áreas superficiais de cada mineral, antes e após a adsorção com CAPs, utilizando-se a metodologia descrita em Rodella (2001). De acordo com a metodologia, 1 g de agregado mineral é colocado no compartimento do aparelho BET e avaliado por meio de injeção de gás nitrogênio durante 1 hora. Após esse tempo, obtém-se o valor da área superficial BET.

3.3 | Avaliação da Resistência Mecânica da Mistura Asfáltica

3.3.1 MOLDAGEM DOS CORPOS DE PROVA DE ASFALTO

Este método avalia o desempenho de misturas asfálticas quanto à propriedade de adesividade CAP/agregado, por meio de ensaios de laboratório em amostras compactadas. O método consiste na moldagem de três corpos de prova, em compactador Marshall, modelo IK-433, para cada cimento asfáltico, com percentual de vazios entre 6 e 8% na mistura compactada.

A preparação dos corpos de prova de mistura asfáltica foi realizada pelo Laboratório de Mecânica dos Pavimentos da Universidade

Federal do Ceará (UFC), constando da obtenção do percentual de vazios e do método AASHTO T 283/89 – LOTTMAN.

3.3.2 MÉTODO AASHTO T 283/89 – LOTTMAN

Para o ensaio LOTTMAN, foram moldados três corpos de prova para cada CAP. Em seguida, cada um foi submetido a um ensaio de resistência mecânica.

O primeiro corpo de prova foi avaliado quanto à resistência à tração por compressão diametral, sem nenhum tipo de condicionamento. Os outros dois foram sujeitos a um processo de condicionamento especificado no método AASHTO T 283/89, simulando a ação do intemperismo nos corpos de prova, como descrito a seguir: submeteu-se os corpos de prova em água, a uma pressão de vácuo de 25,4 cm, por um período de cinco a dez minutos, para aumento do grau de saturação. Os corpos de prova saturados foram revestidos com filme plástico e colocados em sacos plásticos contendo aproximadamente 10 mL de água.

As amostras foram resfriadas à temperatura de $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$, por 16 horas. Em seguida as amostras foram retiradas da refrigeração, sendo uma delas analisada imediatamente quanto à resistência à tração por compressão diametral.

A outra amostra, após o período de congelamento, foi imersa em banho à temperatura de $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$, por 24 horas. A amostra foi removida para outro banho com temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, por um período de 1 a 3 horas e, então, posteriormente submetida ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral, com o intuito de se observar a variação de resistência à tração, após variações bruscas de temperatura.

O resultado do ensaio foi obtido em percentual, sendo reportado pela relação entre a média dos valores de resistência à tração dos corpos de prova submetidos previamente ao condicionamento (RC) e a resistência dos corpos de prova sem condicionamento (RSC), como apresentado na equação 5.

$$RR = (RC/RSC) \cdot 100\% \quad (5)$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 | Avaliação dos Agregados Minerais

4.1.1 ANÁLISE QUÍMICA

Os resultados referentes à análise química, por faixa granulométrica do agregado mineral calcário da região de Farias Brito, são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Análise química referente ao calcário estudado.

Fração (mm)	Teores (%)	
	CaO	MgO
- 1,68	49,6	3,78
- 1,19	41,5	10,05
- 0,841	49,8	3,21
- 0,595	50,4	2,98
- 0,420	49,1	2,94
- 0,297	49,0	4,07
- 0,210	43,1	7,55
- 0,149	40,8	9,50
- 0,105	41,4	10,33
- 0,074	44,7	7,73
- 0,053	45,2	4,97
- 0,044	48,6	3,60
- 0,037	49,8	2,32
Total	46,20	5,87

4.1.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Por meio da Tabela 2, pode-se verificar o resultado da distribuição granulométrica do conjunto de britas de calcário. Segundo o DNIT, tal distribuição classifica-o na faixa C de agregados minerais.

TABELA 2: Distribuição granulométrica do calcário.

Malhas	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra
+1/2"	77,9	—	—
+ 3/8"	21,6	91,4	—
+ 4"	—	3,2	—
+ 8#	—	1,8	—
+16#	—	0,2	23,4
+30#	—	0,1	29,5
+50#	—	0,1	3,6
+80#	—	0,2	1,8
+100#	—	0,1	2,5
+200#	—	1,7	2,4
-200 #	0,4	1,1	36,8
Total	100%	100%	100%

4.1.3 ABRASÃO LOS ANGELES

Verificou-se um valor de abrasão em torno de 36%. Este valor é considerado aceitável, segundo as normas estabelecidas pelo DNIT (valores inferiores a 50 ou até 40%). Comumente, rochas calcárias apresentam valores de abrasão em torno de 60%. Porém, a formação geológica dessa rocha possivelmente lhe confere uma alta resistência abrasiva, enquadrando-a como matéria-prima para utilização em misturas asfálticas.

4.1.4 DENSIDADE

Foram verificados os seguintes valores de densidades real e aparente, respectivamente, para o agregado graúdo: 2,72 e 2,68 g/mL. Para o agregado miúdo os valores foram: 2,69 e 2,63 g/mL, respectivamente. Estes valores estão de acordo com a literatura, uma vez que a densidade da calcita é da ordem de 2,5 g/mL e da dolomita, de 1,9 g/mL. Como a rocha é um calcário calcítico, estima-se que a densidade obtida esteja relacionada a tal mineral (KIEHL, 1979).

4.1.5 ÍNDICE DE FORMA

Para uso em misturas asfálticas, as partículas de agregados devem ser mais cúbicas do que planas (chatas), finas ou alongadas. Em misturas compactadas, as partículas de forma angular exibem um maior intertravamento e atrito interno, resultando, conseqüentemente, numa maior estabilidade mecânica do que as partículas arredondadas. Por outro lado, misturas que contêm partículas arredondadas, tais como a maioria dos cascalhos naturais e areias, têm uma melhor trabalhabilidade e requerem menor esforço de compactação para se alcançar a densidade requerida para a mistura asfáltica.

Esta facilidade para compactar não constitui necessariamente uma vantagem, visto que as misturas que são mais fáceis de se compactar durante a construção podem continuar a apresentar problemas sob ação do tráfego, levando a deformações permanentes devido aos baixos índices de vazios e fluxo plástico (ROBERTS et al., 1996).

Partículas chatas e alongadas impedem a compactação e podem impedir o desenvolvimento de resistência satisfatória na mistura asfáltica. A AASHTO M 283 requer que a porção de agregado retida na peneira de 3/8" (9,5mm) não contenha mais de 15%, em peso, de partículas que tenham uma razão do comprimento por largura ou espessura que exceda 5:1.

Na Tabela 3 pode-se verificar o enquadramento deste agregado às normas estabelecidas pelo DNIT, classificando como apto o uso deste material para pavimentação.

TABELA 3: Índice de Forma (%) dos Agregados Graúdos.

Forma	Calcário (%)
Alongadas	26
Achatadas	13
Nenhuma das duas	61
Total	100

4.1.6 DUREZA

Observou-se um valor em torno de 6,5 MPa, valor este considerado alto para este tipo de rocha. Valores em torno de 13 MPa são observados para rochas extremamente duras, como o basalto. Tal resultado corrobora os resultados obtidos no ensaio de abrasão Los Angeles, que classificou tal agregado como adequado para pavimentação.

4.1.7 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL

Verificou-se uma resistência à compressão em torno de 62 MPa, valor aceitável para este tipo de rocha, segundo as especificações da ASTM. Segundo Frascá (2002), os valores considerados aceitáveis para calcários de alta densidade ($> 2,56 \text{ kg/m}^3$) são superiores a 55 MPa. Dessa forma, verifica-se que o calcário enquadra-se em tal categoria, além de corroborar os ensaios de alta dureza e resistência à abrasão.

4.1.8 ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Obteve-se um valor de 10 MPa para o calcário. Stellin e Caranassios (1991), que estudaram a resistência à flexão de diferentes rochas brasileiras e italianas, observaram valores da ordem de 5 MPa. Tal fato pode estar relacionado com a estrutura da rede cristalina e com o plano de clivagem da rocha.

4.2 | Avaliação da Interação com os Asfaltos

4.2.1 ADSORÇÃO

Em relação ao processo de adsorção dos cinco CAPS à superfície do calcário, verifica-se na Figura 5 um comportamento similar para todos os cinco asfaltos em estudo, observando-se uma baixa adsorção de todos à superfície do agregado, chegando-se a valores máximos em torno de 3 mg/g, em concentrações máximas de CAP de aproximadamente 18 mg/L.

Se comparados a agregados comumente utilizados em pavimentação, como o basalto ou gnaiss, comprova-se a baixa adsorção dos CAPS à superfície do calcário, uma vez que tais agregados apresentam valores máximos de adsorção em torno de 6 – 7 mg/g.

Tal fato indica que a rocha calcária em estudo não apresenta boa interação com os asfaltos e, possivelmente, haverá desprendimento do pavimento.

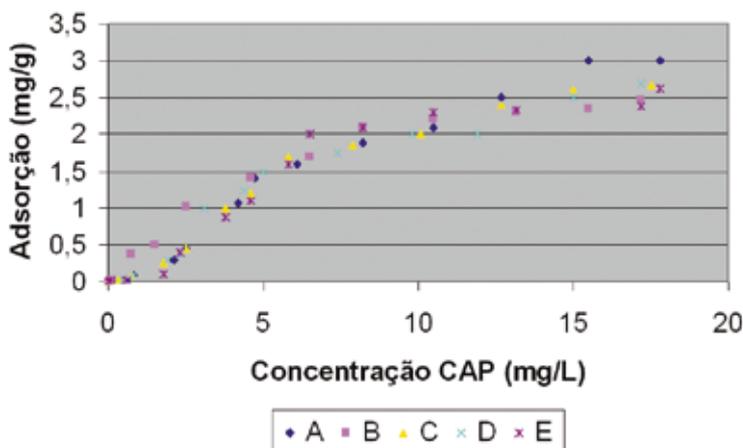


FIGURA 5: Adsorção *versus* Concentração de CAPs na superfície do calcário.

4.2.2 ADESIVIDADE DO LIGANTE AO AGREGADO GRAÚDO

Em relação aos resultados de adesividade, verificou-se que todos os CAPs desprenderam-se da rocha calcária após 72 h, em presença de água, a 40°C.

4.2.3 MEDIDAS DE MOBILIDADE ELETRÓFORÉTICA (POTENCIAL ZETA)

Na Figura 6 pode-se avaliar o comportamento da mobilidade eletroforética do calcário antes e após a adsorção com os asfaltos. Verifica-se uma distribuição de cargas positivas em toda faixa ácida de pH, com ponto isoelétrico em torno de 7,5. A partir desse ponto, verifica-se uma distribuição negativa.

Pode-se verificar que nenhum dos cinco asfaltos afeta a distribuição de cargas apresentada pelo calcário, indicando a má adesão de todos os CAPs à superfície do calcário.

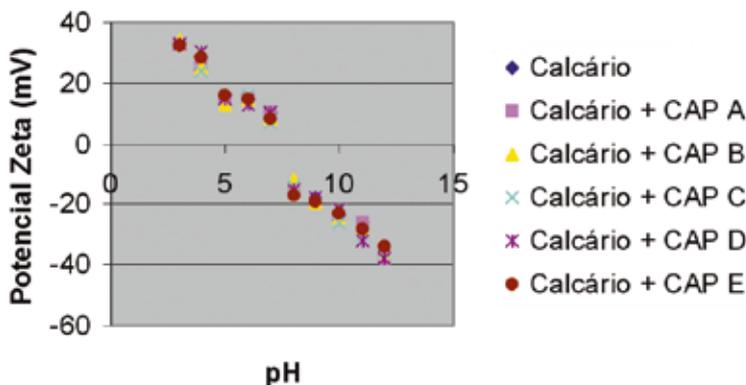


FIGURA 6: Valores de potencial zeta antes e após adsorção de CAPS na superfície do calcário em presença de 0,01 M NaNO_3 .

4.2.4 ÂNGULO DE CONTATO

Verifica-se que antes da adição do CAP os valores de ângulo de contato foram todos iguais a zero, indicando a hidrofiliicidade do agregado. Após a adição de CAP, o ângulo aumenta proporcionalmente com os valores de pH, indicando a adsorção entre os CAPS e as superfícies dos agregados minerais, tornando-as cada vez mais hidrofóbicas. Daí o aumento nos valores do ângulo (Tabela 4).

De acordo com Elphingstone (1997) e o SHRP (1993), valores menores que 90° indicam um “molhamento” do ligante na superfície do agregado. Porém, quando os valores são mais próximos a 90° , pode-se verificar uma boa adsorção entre o CAP e a superfície do agregado, uma vez que a superfície se torna hidrofóbica, devido ao recobrimento do CAP.

No caso de ângulos cada vez menores, verifica-se uma adsorção não tão efetiva, pois o sistema tende a se comportar como a superfície do agregado ausente de CAP, ou seja, tende a chegar a zero. Com relação ao calcário, observa-se que os valores dos ângulos apresentam-se inferiores a 90° , indicando o molhamento do ângulo. Porém, se comparado ao basalto (72°), verifica-se um valor bem inferior, indicando uma interação não efetiva.

TABELA 4: Valores de ângulo de contato do calcário antes e após a adição de CAP A.

Mineral / pH	3,0		5,0		7,0		9,0		11,0	
calcário	0	52	0	52	0	54	0	64	0	67

4.2.5 ÁREA SUPERFICIAL

Os resultados das medidas de área superficial do calcário, antes e após adsorção com o CAP A, podem ser observados na Tabela 5. Pode-se verificar que o valor da área superficial foi reduzido após a adsorção do CAP, indicando que os poros do agregado foram ocupados pelo ligante, impedindo a passagem do gás.

Resultados de área superficial de alguns minerais foram obtidos por Marczewski e Szymula (2002), que observaram valores em torno de 1,12 para calcita, corroborando os resultados encontrados.

TABELA 5: Valores de ângulo de contato do calcário antes e após a adição de CAP A.

Agregado Mineral	Área superficial isenta de CAP (m ² /g)	Área após adsorção com CAP (m ² /g)
Calcário	1,12	0,69

4.3 | Avaliação da Resistência Mecânica

A Tabela 6 apresenta os resultados da razão de resistência mecânica das misturas asfálticas produzidas utilizando-se o calcário e cada um dos cinco CAPs em estudo.

O valor limite das especificações SUPERPAVE é de no mínimo 80%, sendo que Hicks (1991) considera 70% como um valor admissível.

Pode-se verificar que as misturas asfálticas produzidas com os agregados calcários não apresentaram bom desempenho quanto à resistência mecânica, independente do tipo de CAP utilizado. Tal fato pode estar relacionado com a má interação entre CAP e o referido agregado, como indicado previamente nos ensaios de adsorção química, potencial zeta e ângulo de contato.

TABELA 6: Valores das razões de resistência à tração (%) das misturas asfálticas.

	A	B	C	D	E
Razão de resistência à tração (%)	70,09	58,9	60,32	59,79	59,89

5 | CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que o calcário oriundo da região de Farias Brito – Cariri – CE apresentou bons resultados de resistência mecânica, como dureza, compressão e abrasão, enquadrando-se às normas do DNIT, indicando a possibilidade do seu emprego como um novo agregado mineral para pavimentação. Porém, quando se verificou o processo de interação físico-química, por meio de adsorção, potencial zeta e ângulo de contato, com diferentes CAPs, verificou-se o mau desempenho de tal rocha.

Quando se avaliou a mistura asfáltica gerada com o calcário e qualquer um dos cinco CAPs, observou-se que nenhum dos resultados atendeu as especificações requeridas para resistência mecânica, impedindo a utilização dessa rocha em pavimentação.

Desse modo, conclui-se que o referido calcário não apresenta boas condições de utilização em pavimentação, mesmo tendo índices físicos enquadrados às normas do DNIT.

A má adesão entre o calcário e os CAPs pode possivelmente ser, melhorada após a adição de um melhorador de adesevidade capaz de facilitar a interação CAP/brita, classificando-o como apto.

6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO T 283/89 – LOTTMAN. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, normas ASTM, 1989.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas para Revestimento, Determinação da resistência à flexão, – NBR 12763, Rio de Janeiro, p. 3, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rochas para revestimento, determinação da resistência à compressão uniaxial – NBR 12767, Rio de Janeiro, p. 2, 1992.
- ADAMSON, A.W., Physical Chemistry of Surfaces, New York, John Wiley & Sons, Cap.V, 1990.
- ALMEIDA, S. L. M e CHAVES, A. P., Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua - RJ, CETEM - MCT, 2002.
- ASTM D 4791 - Partículas chatas e alongadas no agregado graúdo, 1991.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 078/94 – Ensaio de Adesividade, Rio de Janeiro, p.3, 1998.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 081/94 – Agregado Graúdo – Determinação de densidade relativa, Rio de Janeiro, p.3, 1998.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 084/94 – Agregado Miúdo – Determinação de densidade relativa, Rio de Janeiro, p.4, 1998.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, Especificação de material DNER-EM 043/95, Cimentos Asfálticos de Petróleo, p.7, 1995.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 083/98 Agregados – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, p. 3, 1998.
- ELPHINSTONE, G. M. Adhesion and Cohesion in Asphalt – Aggregate Systems, Dissertation Submitted to Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 1997.

- FRASCÁ, M. H. B. O. Caracterização tecnológica de rochas ornamentais e de revestimento: estudo por meio de ensaios e análises e das patologias associadas ao uso, III SRONE, Recife-PE/Brasil, pp. 1-5, 2002.
- GONZÁLES, G. e MIDDEA, A. Efeito de Resinas e Asfaltenos sobre as Propriedades Superficiais de Partículas de Quartzo, Feldspato e Calcita, Comunicação Técnica SECRES-023/87, PETROBRAS, Rio de Janeiro, Novembro, 1987.
- HICKS, R. G. Moisture Damage in Asphalt Concrete. TRB – Transportation Research Board, NCHRP Synthesis on Highway Practice, n 175, 1991.
- KIEHL, J. E. Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, p. 264, 1979.
- MARCEWSKI, A. W e SZYMULA, M. Adsorption of asphaltenes from toluene on mineral surface, Colloids and Surfaces, A: Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 208, pp. 259-266, 2002.
- MARQUES, G. L. O. Procedimentos de avaliação e caracterização de agregados minerais usados na pavimentação asfáltica. In: I Seminário de Qualificação ao Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.
- RAND, H.M., MANSO, V.A.V. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Baciado Araripe. In: CONG. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v. 4, p. 2011-2016, 1984.
- ROBERTS, F. L., KANDHAL, P. S., BROWN, E. R.; LEE D. Y. E KENNEDY T. W. Hot mix asphalt materials, mixture design and construction. In: NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996.
- RODELLA, C. B. Preparação e Caracterização de Catalisadores V₂O₅ suportados em TiO₂, Tese de Doutorado, USP, São Paulo - São Carlos, maio, 2001.
- SHRP – Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, DC, 1993.
- STELLIN JR., A. E CARANASSIOS, A. Extração de rochas ornamentais, Revista Brasil Mineral, nº 89, pp. 30-34, 1991.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2006, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visitemos em www.cetem.gov.br/series.

Últimos números da Série Tecnologia Mineral

STM-85 - Análise de Modelo Cinético: flotação verdadeira e arraste. Influência do tamanho das partículas. Fernando Antunes Gaspar Pita, 2006.

STM-84 - Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Minerais na Formação do Asfalto Roberto Carlos da C. Ribeiro, Julio Cesar Guedes Correia e Peter Rudolf Seidl, 2005

STM-83 - Influência da aeração numa coluna BATCH. Fernando A. G. Pita, 2004.

STM-82 - Modelagem molecular aplicada à flotação de minerais - Estudo de casos. Júlio Cesar Guedes Correia, Laurindo de Sales Leal Filho e Peter Rudolf Seidl, 2002.

STM-81 - Beneficiamento Mineral: potencialidades dos microrganismos como reagentes de flotação. Luciana Maria Souza Mesquita, Fernando A. Freitas Lins e Maurício Leonardo Torem, 2002.

STM-80 - Instrumentação de uma coluna piloto para desenvolvimento de técnicas de controle avançadas. Maria Auxiliadora Muanis Persechini, Fábio Gonçalves Jota, Maria Lúcia Magalhães de Oliveira, Antônio E. Clark Peres, 2002.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral

Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária

21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3867-7222 - Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOSSAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.

Esta publicação foi composta nas famílias tipográficas
Frutiger e The Sans. Impressa na Imprinta Express Gráfica
e Editora LTDA em papel Couchê Matte 90gr/m²