

# APLICAÇÃO DE RESÍDUOS ORIUNDOS DO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS NA PRODUÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Ribeiro, Roberto Carlos, Correia, Julio Cesar & Conceição, Marcell

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência e Tecnologia  
Campus Avançado de Cachoeiro de Itapemirim- ES - CACI  
Rodovia Cachoeiro -Alegre, km 5 - Morro Grande - Caixa Postal 527. C de Itapemirim/ES. CEP 29300-970.  
Tel./fax (28) 3511 8937. E-mail: rcarlos@cetem.gov.br

## RESUMO

O corte e o beneficiamento de rochas ornamentais gera toneladas de resíduos, grossos e/ou finos, que acabam causando enormes problemas ambientais. Com isso, entidades governamentais buscam alternativas para a utilização destes resíduos. Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza em sua composição 95% de agregados minerais e 5% de cimento asfáltico de petróleo - CAP. Baseado nisso, o objetivo deste trabalho foi o de verificar a possibilidade de utilização de resíduos minerais graníticos como agregado mineral em misturas asfálticas. Para tal, realizou-se uma britagem, a fim de se obter um conjunto de agregados nos seguintes tamanhos: brita 0, brita 1 e pó de pedra. Posteriormente, realizaram-se ensaios de abrasão Los Angeles, índice de forma, densidades real e aparente, análises química e mineralógica. Por fim, foram realizados ensaios de adsorção e de resistência mecânica (LOTTMAN) com misturas asfálticas utilizando-se tais resíduos minerais e um CAP. Pôde-se verificar que o resíduo enquadrou-se segundo as normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte -DNIT para agregados minerais, além de apresentar um valor de resistência mecânica superior a 130%, podendo ser um novo insumo para o setor de pavimentação, bem como diminuindo o impacto ambiental causado pelas pedreiras e serrarias.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rochas ornamentais, Resíduos de rochas, Pavimentação asfáltica.

## ABSTRACT

The cutting granite operation produces a huge amount of fines, which are hazardous to the environment when discarded inadequately, sanding rivers and reducing aquatic life. Prior studies showed that basalt has good adsorption with asphaltic cement and infrared spectrum presented similarities in compositions of basalt and granite. Therefore, the main objective of this work is to evaluate the incorporation of these fines as a mineral aggregate in asphalt formation. It was used asphaltic cement generated in a refinery in Rio de Janeiro, Brazil, which interacted with granite during four hours. Spectrophotometer readings were performed before and after this interaction in order to verify the capacity of the granite adsorption. Results showed that the use of granite fines in the asphalt production is quite fusible. Consequently, granite sawmills would perform a clean technology. This technology would also have an economical impact by not spending on basalt extraction.

**KEYWORDS:** ornamental rocks, ornamental rocks residues, asphalt.

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns países, como o Brasil, que dispõem de importantes recursos geológicos e onde a extração de rochas ornamentais encontra-se em acelerado desenvolvimento enfrentam sérios problemas com os resíduos provenientes da extração e beneficiamento das peças de granito. Esses resíduos contaminam diretamente os rios, poluem visualmente o ambiente e acarretam doenças pulmonares na população (Silva, 1998).

A extração de rochas ornamentais e a produção de chapas geram uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, gerados pela quebra das peças durante o corte e resíduos finos que aparecem na forma de lama. Esta é geralmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída (aluminossilicatos, feldspato e quartzo), que após o processo são lançadas no meio ambiente. Após a evaporação da água, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos, sendo alguns casos canalizada diretamente para os rios e lagos (Farias, 1995).

Os problemas mencionados anteriormente vêm despertando a atenção das autoridades ambientais, que vem multando e fechando serrarias e pedreiras que lançam estes resíduos no meio ambiente. A solução que as pedreiras e serrarias tiveram foi a retenção e agregação de valor econômico para seus resíduos, a fim de atender as exigências dos órgãos ambientais e poderem continuar funcionando.

A fina granulometria, composição pré-definida (granito moído, cal e granalha de ferro ou aço) e a inexistência de grãos mistos entre os três componentes básicos dos resíduos gerados impulsionaram estudos na viabilidade de utilização dos mesmos em diversos setores da indústria. (Silva, 1998).

Uma solução para este problema foi a construção de unidades de tratamentos de efluentes (UTE), para o recolhimento dos resíduos e envio de água isenta de contaminantes para o meio ambiente, possibilitando a legalização das serrarias de acordo com as normas ambientais. O aproveitamento destes resíduos também foi estudada na produção de argamassas, tijolos e telhas, favorecendo economicamente as referidas serrarias (Carvalho *et al.*, 2003).

Baseado na proposta de utilização de resíduos de serrarias apresentados anteriormente surge a idéia de utilização deste abundante resíduo mineral na produção de misturas asfálticas, que consome enormes quantidades de agregados minerais, grãos e miúdos, em sua produção.

As misturas asfálticas utilizadas em pavimentação são constituídas, geralmente, por 90 a 96%, em peso, de agregados minerais e filler e de 4 a 10%, em peso, de cimentos asfálticos de petróleo (CAP). O CAP constitui a fração pesada da destilação do petróleo sendo classificado como um material termosensível utilizado principalmente em trabalhos de pavimentação, pois, além de suas propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possui características de flexibilidade e resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis (Elphingstone, 1997 e Franquet, 1999).

Na pavimentação asfáltica o CAP tem função de ligante, ficando responsável pela aglutinação dos agregados minerais. Quanto a estes, a pedra britada é sem dúvida o mais empregado; a areia faz parte de algumas composições no Norte e/ou no Nordeste, quando não se dispõe de pedra britada. O pedregulho natural é empregado somente quando há falta de agregados britados e a escória ainda é pouco utilizada. O Filler é quase sempre utilizado, seja aquele de britagem como o pó calcáreo e a cal.

Baseado nisto, o objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade de utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais, com composição mineralógica uniforme (somente resíduos de gnaiss) no processo de formação da mistura asfáltica. Dessa forma, pretende-se reduzir os custos da produção do e principalmente reduzir o impacto ambiental causado por esses resíduos contribuindo com as tecnologias limpas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização deste trabalho, utilizou resíduo fino e grossos do corte e beneficiamento de rochas ornamentais da região de Cachoeiro de Itapemirim - ES e cinco CAPs brasileiros, que serão chamados de A, B, C, D e E.

### 2.1 Ensaio de Adsorção

Nos ensaios de adsorção pesou-se 0,5 g de resíduo, britado e peneirado (diâmetro de partícula < 0,149 mm), respeitando-se as normas de dosagem Marshall estabelecidas pelo DNIT (DNER ME 043/95), sendo colocados em 10 tubos de centrifuga. A cada tubo adicionou-se 25 mL de uma solução de concentração específica, sendo elas: 0,0005 mg/L; 0,001 mg/L; 0,0015 mg/L; 0,0025 mg/L; 0,005 mg/L; 0,0075 mg/L; 0,01 mg/L; 0,0125 mg/L; 0,015 mg/L e 0,02 mg/L. A seguir, os tubos foram agitados durante quatro horas a 200 r.p.m. Após esse período o material foi centrifugado durante 30 minutos a 3000 r.p.m., 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, pode-se obter os valores de absorbância após a adsorção com os resíduos. De posse destes valores e de cada equação de reta, pode-se obter os valores das concentrações finais e, conseqüentemente, das adsorções que cada CAP ou seu constituinte teve com o agregado mineral.

## 2.2 Análise Química

Realizou-se a análise química do resíduo a fim de se verificar sua composição química e compará-la com os resultados obtidos com um agregado mineral basáltico, comumente utilizado em pavimentação, nas regiões Sul e Sudeste. Estas por sua vez, são as regiões que mais consomem CAPs no Brasil. Essa análise foi realizada pela Coordenação de Análises Químicas do CETEM.

## 2.3 Medidas de Infravermelho pelo Método de Reflectância Difusa

Para obtenção dos espectros seguiu-se a metodologia descrita em Monte (1998), onde 20mg do material em estudo (resíduo) foi misturado com 220 mg de KBr. Foram realizadas 1000 varreduras para cada amostra a uma velocidade de 20 varreduras/min.

## 2.4 Abrasão Los Angeles

Para verificação da abrasão Los Angeles utilizou-se a metodologia descrita em DNIT-ME035/98.

## 2.5 Resistência mecânica em misturas asfálticas (LOTTMAN)

Para avaliação da resistência mecânica utilizou-se os 3 corpos de prova pré-confeccionados. 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 imerso em água, a uma pressão de vácuo de 25,4 cm a 66 cm de coluna de mercúrio por um período de cinco a dez minutos, para aumento do grau de saturação. O corpo de prova saturado foi revestido com filme plástico e colocado 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 analisada imediatamente quanto a 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. Posteriormente, a amostra foi removida para outro banho com temperatura de  $25 \pm 0,5^\circ\text{C}$  por um período de  $2 \pm 1$  hora e então posteriormente submetida ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

O resultado do ensaio é 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: Razão de Resistência (%) =  $(RC/RSC) \cdot 100$ .

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Ensaios de Adsorção

A figura 3.1 apresenta os resultados de adsorção de cinco diferentes CAPs no resíduo de rochas ornamentais, passante em peneira de 4,8 mm. Pode-se verificar que o resíduo apresenta potencialidade de utilização, uma vez que o mesmo adsorveu os cinco diferentes cimentos asfálticos estudados. Observa-se, porém uma melhor adsorção entre o resíduo e o CAP A, chegando a valores máximos de adsorção em 4,5 mg/g, sendo o mais indicado para formação de uma mistura asfáltica com o resíduo em questão, sob este aspecto de análise.

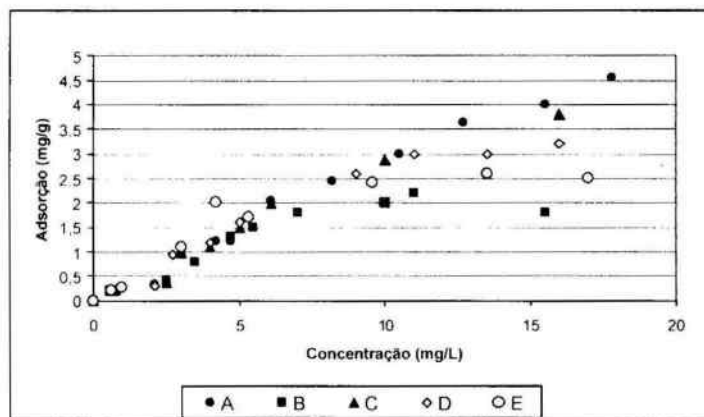


Figura 3.1: Adsorção de cinco CAPs em um resíduo mineral.

Resultados semelhantes foram obtidos por Ribeiro (2003), quando estudou a adsorção entre diferentes cimentos asfálticos de petróleo e seus constituintes, asfaltenos e maltenos, com um agregado basáltico da região de São Carlos-SP. Com base neste estudo, Ribeiro (2003) observou uma adsorção preferencial entre o CAP A e o agregado. Este resultado pôde ser explicado por meio dos constituintes presentes nos CAPs que favorecem ou desfavorecem o mecanismo de adsorção. Segundo ele, a adsorção preferencial, ocorre entre os asfaltenos presentes no CAP e a superfície mineral e, que os maltenos atrapalham tal processo, uma vez que seus resultados de adsorção se mostraram extremamente baixos.

### 3.2 Análise Química

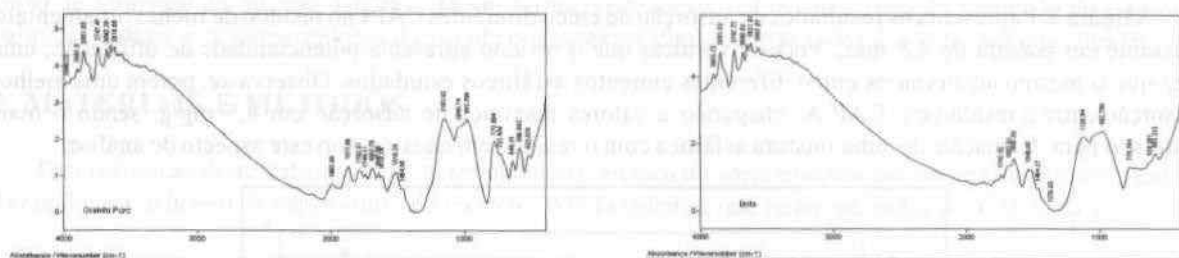
Os resultados de análise química do resíduo encontra-se ilustrado na Tabela 3.1. Pode-se verificar teores altos de sílica e alumina, similares ao do agregado mineral padrão e também que as relações Si/Al são muito semelhantes, sendo seu valor em torno de 3,8, característico de um aluminossilicato (Abollino et al, 2003 e Farrah, 1977). Esses resultados corroboram a idéia de utilização deste resíduo na composição da mistura asfáltica, uma vez que suas composições são semelhantes a de um agregado basáltico, segundo estudos de Ribeiro (2003).

**Tabela 3.1:** Resultados de Análise Química do resíduo e de um agregado mineral padrão.

Composição (%)	Resíduo	Agregado Mineral (Ribeiro, 2003)
SiO <sub>2</sub>	67,14	72,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,92	16,54
K <sub>2</sub> O	5,18	6,69
Na <sub>2</sub> O	2,93	3,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,4	2,49
CaO	1,91	7,51
TiO <sub>2</sub>	0,73	3,17
MgO	0,73	2,91

### 3.3 Medidas de Infravermelho pelo Método de Reflectância Difusa

A Figura 3.2 a e b apresenta respectivamente os espectros de infravermelho dos resíduos de Cachoeiro de Itapemirim e de um agregado mineral basáltico. Pode-se verificar a extrema semelhança entre seus espectros confirmando os resultados obtidos pela análise química, indicando cada vez mais a potencialidade de utilização deste resíduo como um possível insumo para produção da mistura asfáltica.



**Figura 3.2:** Espectros de Infravermelho do resíduo mineral (a) e de um agregado mineral basáltico (b)

### 3.4 Abrasão Los Angeles

Para que um agregado mineral possa ser utilizado na composição da mistura asfáltica, segundo as normas do DNIT, é necessário que seu valor de abrasão seja inferior a 50%. Em alguns departamentos estaduais, a abrasão deve ser inferior ou igual a 40% e alguns tipos de misturas asfálticas, requerem que a abrasão seja inferior a 30%.

De acordo com os resultados obtidos para o resíduo mineral de Stº Antônio de Pádua, obtve-se um valor em torno de 51% para abrasão Los Angeles. Este valor pode ser considerado alto para utilização deste resíduo em pavimentação, porém estudos de resistência mecânica, desgaste, alterabilidade e dureza poderão



esclarecer sua potencialidade de utilização, a fim de compensar os bons resultados químicos de adsorção com os CAPs.

### 3.5 Resistência mecânica em misturas asfálticas (LOTTMAN)

Com relação aos resultados de resistência mecânica da mistura asfáltica, pôde-se verificar um valor superior de 120% indicando a adequação do resíduo às normas exigidas pelo DNIT para utilização em pavimentação asfáltica.

## 4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados preliminares obtidos pode-se concluir que o resíduo mineral de gnaiss apresenta potencialidade para utilização na produção de uma mistura asfáltica uma vez que seus resultados se assemelham a de um mineral basáltico. Além disso, quando submetido à adsorção com os CAPs, observou-se um alto poder de adsorção, semelhante também ao mineral. Porém, resultados mais concretos, que definam por completo, a utilização deste resíduo em pavimentação, só poderão ser obtidos após estudos de análise de resistência mecânica.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOLLINO, O., ACETO, M., MALANDRINO, M., SARZANINI, C. AND MENTASTI, E, Adsorption of heavy metals on Na-Montmorillonite. Effect of pH and organic substances, *Water Research*, 37, 1619-1627, Italy, 2003.
- CARVALHO, E. A., CAMPOS, A. R. e PEITER, C. C., Mitigação do Impacto Ambiental provocado por Efluentes de Serrarias de Rochas Ornamentais em Cachoeiro de Itapemirim, Relatório Técnico, CETEM, Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- ELPHINGSTONE, 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.
- FARIAS, C. E. G. Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza. 1995.
- FARRAH, H. AND PICKERING, The Sorption of lead and cadmium species by clay minerals, *Aust. J. Chem* 30, 1417-1422, 1977.
- FRANQUET, P. F., Adhesividad y activación, *Carreteras* 103, Septiembre, 1999.
- MONTE, M. B. M., Propriedades de superfície do ouro e da pirita e sua separação por flotação, tese de doutorado, COPPE, UFRJ, 1998.
- SILVA, S. A. C. Caracterização do Resíduo da Serragem de Blocos de Granito Estudo do Potencial de Aplicação na Fabricação de Argamassas de Assentamento e de Tijolos de Solo-Cimento. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES. 1998.
- RIBEIRO, R. C. C., Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Mineraiis na Formação da mistura asfáltica, Tese de Mestrado, EQ – UFRJ, 2003.