

Utilização do Rejeito Oriundo do Corte de Rochas Ornamentais como Agregado Mineral em Pavimentação Asfáltica

Catarina Magnani Moreira Saint Martin
Bolsista de Iniciação Científica, Engenharia Química, UERJ.

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
Orientador, Profº Eng. Químico, D. Sc.

Julio César Guedes Correia
Co-orientador, Químico, D. Sc.

Resumo

O corte de rochas ornamentais gera anualmente toneladas de rejeitos, que causam enormes impactos. Nesse contexto surge o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza 95%, em massa, de agregados minerais em sua composição. Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais como agregado mineral em misturas asfálticas. Para tal, realizou-se britagem, ensaios de abrasão *Los Angeles*, índice de forma e densidade, que são requeridos pelo Departamento Nacional Infra-Estrutura de Transporte (DNIT) para adequação de agregados minerais, além de análises química e mineralógica. Por fim, foram realizados ensaios de adsorção química e de resistência mecânica (LOTTMAN) com misturas asfálticas, utilizando-se tais rejeitos minerais e um asfalto. Pôde-se verificar que o rejeito enquadrou-se às normas do DNIT e obteve resultados satisfatórios nos ensaios de adsorção e resistência mecânica, além de um comportamento similar ao basalto. Com isso, podendo-se concluir que este rejeito pode ser um novo insumo para o setor de pavimentação.

1. Introdução

1.1. Geração dos Rejeitos de Rochas Ornamentais

Alguns países, como o Brasil, que dispõe de importantes recursos geológicos e onde a extração de rochas ornamentais encontra-se em acelerado desenvolvimento, enfrentam sérios problemas com os rejeitos provenientes da extração e beneficiamento das peças de granito. Esses rejeitos contaminam diretamente os rios, poluem visualmente o ambiente e acarretam doenças pulmonares na população. Na Figura 1, apresentam-se as principais transformações técnicas pelas quais passam as rochas ornamentais, da matéria prima ao produto final. A retirada de blocos de granito para a produção de chapas gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, produzidos pela quebra das peças durante o corte que se acumulam no entorno das pedreiras e/ou serrarias, e resíduos finos que aparecem na forma de lama. A disposição desses rejeitos ocorre, geralmente, de forma inadequada, sendo lançadas no meio ambiente, podendo causar assoreamento dos rios (Farias, 1995).

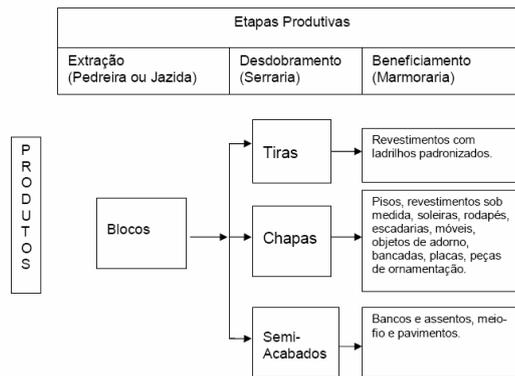


Figura 1 Transformações Técnicas e Principais Produtos da Indústria de Rochas

1.2. Pavimento Asfáltico

O pavimento asfáltico é formado pela mistura entre um conjunto de agregados minerais, com granulações pré-definidas, e um ligante, chamado de asfalto ou cimento asfáltico de petróleo (CAP). Em um pavimento asfáltico, os agregados minerais constituem entre 94 e 95%, em peso, da mistura e o CAP corresponde entre 5 e 6%, sendo este responsável pela agregação dos minerais (Curtis,1999). O CAP é definido pelo Departamento Nacional de Combustíveis (DNC) como um líquido extremamente viscoso, semi-sólido a temperatura ambiente, que apresenta comportamento termoplástico. O CAP é gerado durante a destilação do petróleo. Segundo informações da FIP/USP, 2006, a utilização de agregados minerais na construção de estradas chega a 10.000 ton/Km. Indicando o alto consumo de agregados minerais na geração e ampliação de estradas no Brasil.

2. Objetivo

Baseado nos fatos relatados acima, o objetivo deste trabalho é verificar a potencialidade da utilização de rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais no processo de pavimentação asfáltica, atendendo às normas requeridas pelo DNIT.

3. Experimental

3.1. Seleção do Rejeito

Utilizou-se um rejeito de rocha oriundo de Cachoeiro de Itapemirim, que foi britada até a obtenção das frações brita 1, brita 0 e pó de pedra. O mesmo processo foi realizado com um basalto, oriundo de São Carlos – SP, que é usado comumente em pavimentação.

3.2. CAP

Utilizou-se um CAP, previamente caracterizado pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A Miguez de Mello (CENPES) e oriundo do Rio de Janeiro - RJ.

3.3. Avaliação dos agregados Minerais

Para verificação da qualidade do rejeito e sua influência no processo de adsorção com o asfalto, realizou-se ensaios de análise química e mineralógica. A fim de atender as normas estabelecidas pelo DNIT para utilização de agregados minerais em pavimentação, realizaram-se medidas de densidade real e aparente, determinação do índice de abrasão pelo método *Los Angeles* e determinação do índice de forma.

3.3.1. Análise Mineralógica e Química

As análises química e mineralógica das amostras foram realizadas pela Coordenação de Análises Minerais (COAM), do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

3.3.2. Determinação das Densidades Real e Aparente

Para determinação das densidades utilizou-se as normas ME 081/94 preconizada pelo DNIT. De acordo com o ensaio, 1.000g de cada agregado gráudo 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). As densidades aparente e real foram obtidas por meio das equações: $D_A = P_s / P_u - P_i$ e $D_R = P_s / P_s - P_i$

3.3.3. Determinação do Índice de Abrasão Los Angeles

O ensaio permite a observação da resistência dos agregados minerais frente ao choque de bolas de aço. Dessa forma, pode-se verificar se o agregado será ou não resistente no pavimento. O ensaio foi realizado segundo a norma ME 035/98, desenvolvida pelo DNIT, utilizando-se um moinho de bolas, onde somente os agregados gráudos foram utilizados. De acordo com a norma, deve-se primeiramente verificar a distribuição granulométrica do agregado e analisar em quais peneiras há maior retenção de material. De posse dessa informação, deve-se peneirar novamente o agregado até que 2.600g fiquem retidos nas peneiras previamente analisadas. O material então foi lavado e seco em estufa a 115°C por 1 hora. Após esse tempo, 2.500 g de agregado livre de poeira foram adicionados no aparelho. Este ficou em operação a 500 r.p.m, durante 40 minutos. Após esse período, todo material foi peneirado (< 2 mm), sendo o retido na peneira, lavado, seco e pesado. O índice de abrasão *Los Angeles* foi obtido da maneira apresentada a seguir, sendo os valores inferiores a 40%, ideais para utilização do agregado gráudo em pavimentação. Massa inicial ----- 100%

Massa retida na peneira -----X% ; O valor da Abrasão (*Los Angeles*) será: $Ab = 100 - X$

3.3.4. Determinação do Índice de Forma

Para determinação da forma dos agregados gráudos utilizou-se a metodologia descrita na norma ASTM D4791, preconizada pelo DNIT. De acordo com a norma, a amostra é primeiramente peneirada de acordo com a especificação da análise granulométrica (DNER ME 083/98). Utilizam-se 100 partículas de material retido na

peneira de 4,75 mm (nº 4). O ensaio para partícula plana e para partícula alongada consiste em testar cada uma das partículas e colocar em um dos 3 grupos : 1 – plana, 2 – alongada e 3 – nem plana nem alongada, conforme ilustrado na figura 2.



Figura 2. Dispositivo calibrador de forma, passagem manual dos agregados

3.4. Ensaio de Adsorção

Nos ensaios de adsorção, pesou-se 0,5 g de agregado mineral, respeitando-se as normas de dosagem *Marshall* estabelecidas pelo DNER (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; 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 colocados em mesa agitadora por quatro horas. Após esse período, o material foi centrifugado por 20 minutos em centrifuga a 300 r.p.m. Cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de Ultravioleta-visível (UV), em comprimento de onda fixo em 402 nm (González e Middea, 1987).

3.5. Resistência Mecânica (LOTTMAN)

Para avaliação da resistência mecânica, utilizaram-se os 3 corpos de prova pré-confeccionados. O primeiro 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: Submeteram-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 10 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, estas foram retiradas da refrigeração, sendo uma 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 então removida para outro banho, com temperatura de $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por um período de 2 ± 1 hora e então 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).

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização dos Agregados Minerais

4.1.1. Análise Mineralógica e Química

A Tabela 1 (a) apresenta os resultados da análise mineralógica realizada com o rejeito, onde se observam os minerais feldspato, quartzo e mica no rejeito, uma vez que se trata de um rejeito do corte de granito (Dana, 1970). Além disso, observa-se uma similaridade com o basalto, que é amplamente utilizado em pavimentação, em termos de altos teores de feldspato. Os resultados obtidos pela análise química do rejeito estão apresentados na tabela 4.1 (b), onde pode-se verificar que os agregados minerais (basalto e rejeito) apresentam resultados muito semelhantes, apresentando um alto teor de sílica e alumina, em torno de 70 e 15%, respectivamente, com relações Si/Al em torno de 4,5, valor este compatível com a literatura para estes materiais (Dana, 1970). Tais resultados indicam a possibilidade de utilização do rejeito no processo de pavimentação.

Minerais (%)	Basalto	Rejeito
Feldspato	64	62
Quartzo	2	25
Mica	--	13
Piroxênios	30	--

Composição (%)	Basalto	Rejeito
SiO ₂	72,40	67,14
Al ₂ O ₃	16,54	14,92
K ₂ O	6,69	5,18
Na ₂ O	3,08	2,93
Fe ₂ O ₃	2,49	4,4
CaO	7,51	1,91
TiO ₂	3,17	0,03
MgO	2,91	0,03

Tabela 1 (a) – Composição Mineralógica e (b) Composição Química do basalto e do rejeito.

4.1.2. Densidade

Os resultados das densidades real e aparente dos agregados minerais encontram-se ilustrados na Tabela 2, onde pode-se verificar valores similares para o basalto e para o rejeito, em torno de 2,7 g/mL, indicando a tendência de utilização desse rejeito em pavimentação. O valor médio para rochas graníticas é da ordem de 2,65 g/mL, isto porque os constituintes minerais principais dessas rochas, feldspato e quartzo, apresentam valores de densidade real em torno de 2,65 e 2,70 g/ml (Kiehl, 1979). Além disso, tais resultados estão adequados às normas requeridas pelo DNIT.

Tabela 2 – Resultados das Densidades Real e Aparente do Conjunto de Agregados Minerais

Agregado Mineral	Densidade real (g/mL)	Densidade Aparente (g/mL)
Basalto	2,76	2,68
Rejeito	2,68	2,59

4.1.3. Abrasão Los Angeles

A Tabela 3 apresenta os resultados de abrasão *Los Angeles* do basalto e do rejeito. Por meio dos resultados obtidos, verificou-se que o basalto é a rocha de maior resistência ao desgaste, apresentando um valor de

abrasão entre 13 e 22%. No caso do rejeito verifica-se um valor de abrasão similar, em torno de 28%, valor este superior ao encontrado com o basalto, mas também enquadrado às especificações do DNIT (< 40%).

Tabela 3 – Abrasão para os Agregados Graúdos

Agregados Minerais	Classificação	Abrasão dos Agregados (%)
Basalto	Brita 1	13,1
	Brita 0	22,8
Rejeito	Brita 1	28,2
	Brita 0	26,6

4.1.4. Determinação do Índice de Forma

Para uso em misturas asfálticas, as partículas de agregados devem ser mais cúbicas que planas (chatas), finas ou alongadas. Em misturas compactadas, as partículas de forma angular exibem um maior intertravamento e atrito interno, resultando, conseqüentemente, uma maior estabilidade mecânica que as partículas arredondadas. Por outro lado, misturas que contém partículas arredondadas, tais como a maioria dos cascalhos naturais e areias, têm uma melhor trabalhabilidade e requerem menor esforço de compactação para se obter a densidade requerida (Ribeiro, 2006). Na Tabela 4, observa-se o resultado do índice de forma apresentado pelo conjunto de agregados graúdos, britas 1 e 0, respectivamente. Verifica-se um alto percentual de partículas cúbicas para o rejeito, assim como para o basalto, classificando-o como adequados para utilização em misturas asfálticas segundo o DNIT.

Tabela 4 – Índice de Forma (%) dos Agregados Graúdos

Forma	Brita 1		Brita 0	
	Basalto	Rejeito	Basalto	Rejeito
Alongadas	33	32	36	20
Achatadas	0	6	0	17
Cúbicas	67	62	64	63
Total (%)	100	100	100	100

4.2. Ensaios de Adsorção

A Figura 4 apresenta os resultados de adsorção do CAP nas superfícies do rejeito e do basalto. Pode-se verificar uma similaridade de adsorção por parte das duas rochas, porém o basalto apresentou maiores valores, chegando-se a índices máximos, em torno de 4,6 mg/g, a partir de 15 mg/L de asfalto. Essa diferença pode estar relacionada com a composição mineralógica diferenciada destes agregados.

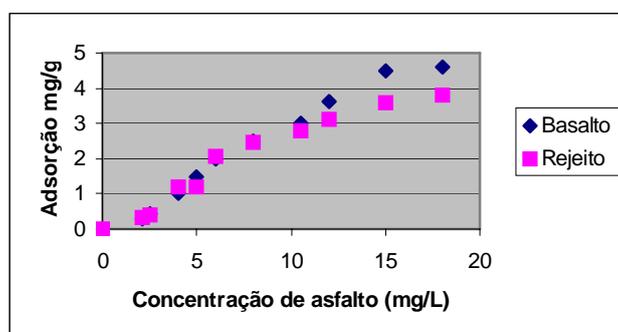


Figura 4. Adsorção *versus* concentração de asfalto nas superfícies do rejeito e basalto

4.3. Determinação de Resistência Mecânica (LOTTMAN)

A Tabela 5 apresenta os resultados de resistência mecânica das misturas asfálticas formadas com o rejeito e o basalto. Segundo especificações do DNIT, os valores ideais de razão de resistência para um pavimento ser utilizado em vias públicas devem ser superiores a 80%. Com isso, verifica-se a adequação do rejeito para este fim. Além disso, verifica-se uma alta resistência mecânica da mistura contendo rejeito, inclusive maior que o basalto, devido, possivelmente, ao maior teor de quartzo que confere maior resistência ao rejeito de rocha.

Tabela 5 – Valores da razão de resistência mecânica (%) das misturas asfálticas

Agregados	Resistência mecânica (%)
Basalto	114,46
Rejeito	130,0

5. Conclusões

Conclui-se que os rejeitos oriundos do corte de rochas ornamentais podem ser utilizados como agregado mineral no processo de pavimentação, uma vez que atendem as normas requeridas pelo DNIT. Além disso, apresentam resultados de resistência mecânica com valores expressivos chegando a mais de 130%.

6. Agradecimentos

Ao CNPq, pelo apoio financeiro. Ao Cetem e ao Laboratório de Pavimentação da COPPE/UFRJ, pela infraestrutura fornecida. À professora Laura Maria Goretti da Motta, da COPPE, e ao técnico Elton Souza dos Santos, do Cetem.

7. Referências Bibliográficas

CURTIS, C. W., "Investigation of Asphalt-Aggregate Interactions in Asphalt Pavements", Chemical Eng Dept, Auburn University, 1999.

DANA, J. D., *Manual de Mineralogia*, São Paulo: EDUSP, vols. 1 e 2, 1970

FARIAS, C. E. G. Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza. 1995.

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.

KIEHL, J. E., *Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta*, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, p. 264, 1979.

RIBEIRO, R. C. C., CORREIA, J. C. G., MENDES, L. F., CAMPOS, A. R. e SEIDL, P. R., *Uses of granite fines in asphalt production: a form of clean technology*, Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology, REWAS 2004, Vol 1, Madri, Espanha, 2004.