

CAPÍTULO 24

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE GERADOS NO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS EM PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro¹; Julio César Guedes Correia, Peter Rudolf Seidl

RESUMO

O corte e o beneficiamento de rochas ornamentais gera toneladas de rejeitos, que acabam assoreando rios próximos às regiões das pedreiras. Devido a isto, Instituições Ambientais vem atuando maciçamente junto a essas pedreiras, buscando uma maneira de diminuir o impacto ambiental. Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi o de verificar a possibilidade de utilização de rejeitos minerais graníticos, oriundos de uma pedreira da Bahia, 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, realizou-se ensaios de abrasão Los Angeles, índice de forma, adesividade de ligante à agregado graúdo, angularidade de agregado miúdo, densidades real e aparente e distribuição granulométrica. Por fim, serão realizados ensaios de resistência mecânica (LOTTMAN) com misturas asfálticas utilizando-se tais rejeitos minerais e um ligante. Pôde-se verificar o enquadramento do rejeito segundo todas as normas preconizadas para agregados, observando-se uma abrasão Los Angeles, em torno de 20%, um índice de forma nem alongada nem chata, em torno de 58%, uma boa adesividade ao ligante, angularidade em torno de 20%, valores de densidade, em torno de 2,5 Kg/m³, além de um enquadramento na faixa C de distribuição granulométrica, segundo normas do antigo DNER. Após a verificação do enquadramento de tal rejeito como agregado mineral para pavimentação estão sendo preparados corpos de prova de misturas asfálticas para realização de ensaios LOTTMAN, por meio da verificação do teor ótimo de ligante. Dessa forma, se poderá verificar a resistência mecânica da mistura asfáltica constituída por tais rejeitos minerais. Porém, pode-se concluir, preliminarmente, que o rejeito enquadrou-se segundo as normas do DNIT para agregados minerais, podendo ser um novo insumo para o setor de pavimentação, bem como diminuindo o impacto ambiental causado pelas pedreiras e serrarias.

Palavras-Chave: agregados minerais, asfalto, mistura asfáltica.

¹ Engenheiro Químico, Ph.D. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). E-mail: rcarlos@cetem.gov.br

ABSTRACT

The cut and the improvement of ornamental rocks generates tons of rejects, that finish sand rivers to the areas of the quarries. Due to this, Environmental Institutions are acting massively close to those quarries, looking for a way to reduce the environmental impact. Based on this, the objective of this work was it of verifying the possibility of use of mineral rejects, originating from of a quarry of Bahia State, as mineral aggregate in asphalt mixture. For such, it took place a britagem, in order to if to obtain a group of aggregate in the following sizes: breaks 0, breaks 1 and stone powder. Later, it took place rehearsals of Los Angeles abrasion, form index, asphalt adhesiveness to joined great, angularity of small aggregate, real and apparent densities and granulometric distribution. Finally, rehearsals of mechanical resistance will be accomplished (LOTTMAN) with asphalt mixture being used such mineral rejects and a asphalt. The framing could be verified of the reject second all of the norms extolled for aggregates, being observed an Los Angeles abrasion, in throne of 20%, a form index nor prolonged nor annoying, around 58%, a good adhesiveness to the asphalt, angularity in throne of 20%, density values, in throne of 2,5 Kg/m³, besides a framing in the strip C of granulometric distribution, according to norms of DNIT. After the verification of the framing of such reject as aggregate for paving bodies of proof of asphaltic mixtures are being prepared for accomplishment of rehearsals LOTTMAN, through the verification of the great tenor of asphalt. In that way, she can verify the mechanical resistance of the asphalt mixture constituted by such mineral rejects. However, it can be ended, that the reject framed it her according to the norms of DNIT for minerals aggregate, could be a new input for the paving section, as well as reducing the environmental impact caused by the quarries and sawmills.

Key Words: minerals aggregate, asphalt, asphalt mixture.

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 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 [1].

A retirada de blocos de granito para a produção de chapas, gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, gerados 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. Esta é geralmente constituída de água, de gralha, 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 [2].

Os problemas mencionados anteriormente vem 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 [1].

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 rejeitos gerados impulsionaram estudos na viabilidade de utilização dos mesmos em diversos setores da indústria, como na produção de argamassas, cimento, tijolos e telhas [1].

Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza em sua mistura, cerca de 95% de agregados minerais (geralmente britas de basalto) e 5% 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 [3].

Na pavimentação asfáltica o CAP tem função de ligante, ficando responsável pela aglutinação dos agregados minerais. Estes, por sua vez, são responsáveis por suportar o peso do tráfego e oferecer estabilidade mecânica ao pavimento.

Dentre os agregados minerais mais utilizados podemos citar a areia, o pedregulho, a pedra britada, a escória e o *filer*. Por representarem mais de 95% da composição do asfalto, os agregados minerais devem ser extraídos da natureza e beneficiados, sendo os responsáveis pela maior parcela de custo do asfalto produzido [4].

Baseado nisto, o objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de utilização de um rejeito de pedreira de granito como agregado mineral para pavimentação asfáltica.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Origem do Rejeito mineral

Utilizou-se como agregado mineral um rejeito oriundo da região de Medeiros Neto, localizada no sul do Estado da Bahia.

2.2 Origem do ligante

Utilizou-se como ligante um CAP-20, oriundo de uma refinaria brasileira.

2.3 Avaliação do Rejeito

2.3.1 Análises Química e Mineralógica

A análise química e mineralógica do conjunto de agregados minerais foi realizada pela Coordenação de análises química e mineralógica do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM.

2.3.2 Determinação do Índice de Forma

Para determinação da forma dos agregados graúdos utilizou-se a metodologia descrita na norma ASTM D4791[5], utilizada pelo DNIT.

2.3.3 Abrasão Los Angeles

O ensaio foi realizado segundo a norma ME 035/98, desenvolvida pelo DNER [6].

2.3.4 Distribuição Granulométrica

O método foi baseado na metodologia descrita na norma DNER - ME 083/98 [7].

2.3.5 Densidade

Para determinação das densidades real e aparente de agregado graúdo utilizou-se as normas ME 081/94 e ME 084/94 preconizada pelo DNER [8].

2.3.6 Angularidade

A forma da partícula do agregado fino pode ser qualificado pelo uso da norma ASTM C 1252 "teor de vazios não compactados de agregado fino". Este ensaio é recomendado pelo programa SHRP no sistema de projeto de mistura *SUPERPAVE*. Existem três métodos para realização deste ensaio (A, B ou C) [9]. O método C, que usa a fração do agregado fino menor que 4,75 mm (peneira nº 4), foi o utilizado neste trabalho.

Um cilindro calibrado com 100 mL foi preenchido com agregado fino de graduação pré definida por meio de fluxo através de um funil colocado a uma altura fixada. O agregado fino foi solto e sua massa determinada por pesagem.

O teor de vazios foi calculado como a diferença entre o volume do cilindro e o volume absoluto do agregado fino coletado no cilindro. Duas medições foram feitas para cada amostra e a média foi utilizada.

Amostras testadas pelo método C podem ser úteis na seleção de proporções de componentes usados em uma variedade de misturas. Em geral, teores de vazios altos sugerem que o material possa ser melhorado por acréscimos adicionais de finos.

2.4 Avaliação da Interação Asfalto/Agregado

2.4.1 Ensaio de Adesividade

O ensaio de adesividade foi realizado baseado no método DNER-ME 078-94. 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.

2.4.2 Ensaio de Adsorção

O processo de interação CAP/agregados minerais foi realizado utilizando-se maciçamente o ensaio descrito em PI 012384, desenvolvido por nosso grupo de pesquisas e com apoio do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Dessa forma, pretende-se consolidar o ensaio desenvolvido, utilizando-se uma série de agregados minerais com análises químicas diferenciadas e comparar os resultados obtidos com a resistência mecânica de cada asfalto produzido com os respectivos agregados minerais e CAPs.

A metodologia conta primeiramente com a elaboração de uma curva de calibração. Para tal, foi utilizado uma solução de CAP, na concentração 1,0% p/v, de onde se retiraram alíquotas para preparo de soluções com as seguintes concentrações: 0,0005 mg/L; 0,001 mg/L 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 [10], obtendo-se, assim, a curva de calibração (concentração inicial versus absorvância), para cada CAP e seus respectivos constituintes. A partir daí, foram obtidas as equações de reta que são empregadas nos ensaios de adsorção com os agregados minerais, a fim de se obter os valores de adsorção final.

Nos ensaios de adsorção pesou-se 0,5 g de agregado mineral, britado e peneirado (diâmetro de partícula < 0,149 mm), respeitando-se as normas de dosagem Marshall estabelecidas pelo DNER (DNER ME 083/98), sendo colocados em 10 tubos de centrífuga. 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 em mesa agitadora Shaker, marca Ika Labortechnik, modelo HS501 digital, durante quatro horas e 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 absorvância após a adsorção com o agregado mineral. De posse destes valores e de cada equação de reta, pode-se obter os valores das concentrações finais e, conseqüentemente, das adsorções que o CAP teve com o agregado mineral.

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 [11], 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 ± 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 Avaliação do Rejeito

3.1.1 Análise Mineralógica

A tabela 3.1 apresenta o resultado da análise mineralógica realizada com o rejeito onde se pode verificar uma alta concentração de feldspatos, chegando-se a valores em torno de 64 %, e quartzo em torno de 34 %. A fins de comparação, foram realizados ensaios com um basalto, amplamente utilizado no processo de pavimentação, onde se pode verificar a grande semelhança entre tais agregados e a possível utilização deste rejeito no processo de pavimentação.

Tabela 3.1: Composição Mineralógica dos Agregados Minerais.

Minerais (%)	Basalto	Rejeito
Feldspato	64	63,6
Quartzo	2	34,4
Granada	--	2
Piroxênios	30	--

3.1.2 Análise Química

Os resultados obtidos por difração de raios-x dos agregados minerais estão apresentados na tabela 3.2. Pode-se verificar que o basalto e o 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 [12].

Tabela 3.2: Análise Química dos Agregados Minerais.

Composição (%)	Rejeito	Basalto
SiO ₂	70,5	72,40
Al ₂ O ₃	18	16,54
K ₂ O	5,6	6,69
Na ₂ O	2,7	3,08
Fe ₂ O ₃	1,4	2,49
CaO	1,2	7,51
TiO ₂	0,03	3,17
MgO	0,1	2,91

3.1.3 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.

Esta facilidade de compactar não constitui necessariamente uma vantagem, visto que as misturas que são mais fáceis de compactar durante a construção podem continuar a apresentar problemas sob ação do tráfego, levando à deformações permanentes devido aos baixos índices de vazios e fluxo plástico [13].

No que diz respeito ao rejeito em estudo, obteve-se um valor em torno de 58% de forma nem alongada nem achatada, 18% alongada, 10% achatada e 14% ambas.

3.1.4 Abrasão Los Angeles

O valor máximo de abrasão Los Angeles permitido para uso em misturas asfálticas é limitado pelas especificações pertinentes de 40% para algumas agências americanas a 60% para outras [13] e [14]. No que diz respeito ao rejeito, obteve-se um valor de 22%, classificando tal rejeito como adequado para pavimentação.

3.1.5 Distribuição Granulométrica

Os resultados da distribuição granulométrica do rejeito encontra-se ilustrado na tabela 3.3, onde pode-se observar a adequação do mesmo à faixa C, segundo as normas estabelecidas pelo DNIT (DNER ME 083/98).

Tabela 3.3: Distribuição granulométrica do rejeito.

Abertura das peneiras (mm)	Brita 1	Pedrisco	Pó de Pedra
+1/2	45	--	--
-1/2" + 3/8"	46,2	--	--
-3/8 + 4"	7,9	1,5	--
-2,5 + 2	0,4	86,3	--
-2 + 1	--	1,2	--
-1 + 0,5	--	--	54,8
-0,5 + 0,297	--	0,1	12,1
-0,297 + 0,177	--	0,1	10,1
-0,177 + 0,149	--	0,2	14
-0,149 + 0,074	--	0,4	5,8
-0,074	0,52	0,4	2,2
Total	100 %	100%	100%

3.1.6 Densidade

Os resultados das densidades real e aparente do rejeito foram respectivamente 2,65 e 2,57 kg/m³. O valor médio para este tipo de rochas 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 [15].

3.2 Avaliação da interação asfalto/brita

3.2.1 Ensaio de adesividade

Com relação ao resultado de adesividade, pôde-se verificar o não deslocamento total da película do CAP à superfície do rejeito.

3.2 Ensaio de adsorção

No que diz respeito a adsorção físico-química, pôde-se verificar uma adsorção máxima, em torno de 3,6 mg/g para o CAP na superfície do rejeito. Tal fato corrobora os resultados anteriores, evidenciando que os agregados minerais compostos por feldspato e quartzo são os responsáveis pela adsorção com o CAP.

3.3 Resistência mecânica em misturas asfálticas (LOTTMAN)

Com relação aos resultados de resistência mecânica da mistura asfáltica, pôde-se verificar um valor superior a 80% indicando a adequação do rejeito às normas exigidas pelo DNIT para utilização em pavimentação asfáltica.

4. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o rejeito oriundo da pedreira da região de Medeiros Neto – BA pode ser utilizado como agregado mineral para pavimentação asfáltica, sem que haja a necessidade de utilização de melhoradores de adesividade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] 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.
- [2] FARIAS, C. E. G. Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza. 1995.
- FRANQUET, P. F., Adhesividad y activación, Carreteras 103, Septiembre, 1999.
- [3] 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.
- [4] RIBEIRO, R. C. C., Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Minerais na Formação do Asfalto, Tese de Mestrado, EQ – UFRJ, 2003.

- [5] ASTM D 4791 - Partículas chatas e alongadas no agregado graúdo.
- [6] DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 035/98 – Agregados – Determinação de abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, p. 6, 1998.
- [7] DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 083/98 Agregados – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, p. 3, 1998.
- [8] DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 081/94 – Agregado – Determinação de densidade relativa, Rio de Janeiro, p.3, 1998.
- [9] NASCIMENTO, R. R., “Utilização de agregados de argila calcinada em pavimentação: uma alternativa para o Estado do Acre”, Dissertação de Mestrado, COPPE- Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.
- [10] GONZALES, G. e MIDDEA, A., “The properties of the calcite-solution interface in the presence of adsorbed resins or asphaltenes”, *Colloids and Surfaces*, vol. 33, pp. 217-229, 1988.
- [11] AASHTO T 283/89 – LOTTMAN. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, normas ASTM.
- [12] DANA, J. D., Manual de Mineralogia, São Paulo: EDUSP, vols. 1 e 2, 1970.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] KIEHL, J. E., Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, p. 264, 1979.