

GERAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS CONTENDO RESÍDUOS ORIUNDOS DO CORTE DE ROCHAS ORNAMENTAIS

R. C. C. Ribeiro¹ e J. C. G. Correia¹

RESUMO - O corte e o beneficiamento de rochas ornamentais, mármore e granitos, gera toneladas de resíduos, grossos e/ou finos, que acabam causando enormes problemas ambientais. Com isso, entidades governamentais buscam alternativas para a utilização desses resíduos. Nesse contexto, surge o processo de pavimentação asfáltica, que utiliza em sua composição em torno de 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, à quente, utilizando-se tais resíduos minerais e um CAP oriundo do Rio de Janeiro. Pôde-se verificar que o resíduo enquadrou-se segundo às normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT para agregados minerais, além de apresentar um valor de resistência mecânica LOTTMAN superior a 130 %, indicando que esses resíduos podem ser considerados um novo insumo para o setor de pavimentação. Além disso, tal aplicação será responsável em mitigar o impacto ambiental causado pelas pedreiras e serrarias de mármore e granitos.

Palavras-chave: Rochas ornamentais; resíduos de rochas; pavimentação asfáltica.

ABSTRACT - Cut and processing of natural stone, marble and granite, generates tons of waste, coarse and fines, which end up causing enormous environmental problems. Thus, government entities seek alternatives to the use of such waste. In this context, paving process arises, which uses in its composition around 95 % of mineral aggregate and 5 % oil asphalt cement - CAP. The objective of this study was to verify the possibility of using granite mineral waste such as mineral aggregate in asphalt mixtures. To that end, realized a crushing in order to obtain a bundle of the following sizes: gravel 0, crushed 1 and stone powder. Later, there were abrasion tests Los Angeles, shape index, real and apparent density, chemical and mineralogical analyzes. Finally, adsorption experiments were carried out, and mechanical strength (Lottman) with asphalt mixtures hot, using such mineral residue derived and the CAP from Rio de Janeiro. It was verified that the residue was in accord of the rules of National Department of Transportation Infrastructure - DNIT to mineral aggregates, in addition to a Lottman strength value greater than 130 %, indicating that such waste can be considered a new material for the paving industry. Furthermore, this application will be responsible for mitigating the environmental impact of quarries and sawmills of marble and granite.

Keywords: Ornamental stone; waste rock; asphalt paving.

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 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. Essa é geralmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída (aluminossilicatos, feldspato e quartzo), que após o processo são acumuladas em aterros ou nas próprias serrarias (Farias, 1995).

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, como na produção de argamassas, cimento, tijolos e telhas (Silva, 1998).

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 termossensível, 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 (Elphinstone, 1997).

Na pavimentação asfáltica o CAP tem função de ligante, ficando responsável pela aglutinação dos agregados minerais. Esses, 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 filler. 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 (Ribeiro, 2003).

Baseado nisso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a possibilidade de utilização de um resíduo oriundo da lavra, de um granito como agregado mineral para pavimentação asfáltica.

2. METODOLOGIA

2.1 Resíduo Mineral

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

2.2 Ligante

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

2.3 Avaliação do Resíduo

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, utilizada pelo DNIT.

2.3.3 Ensaio de Abrasão Los Angeles

O ensaio foi realizado segundo a norma DNIT ME 035/98.

2.3.4 Distribuição Granulométrica

O método foi baseado na metodologia descrita na norma DNIT ME 083/98.

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 DNIT.

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”. Esse ensaio é recomendado pelo programa SHRP no sistema de projeto de mistura SUPERPAVE. Existem três métodos para realização desse ensaio (A, B ou C) (Nascimento, 2005). 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. Esse ensaio avalia o deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura CAP-agregado é imersa em água destilada a 40 °C durante 72 h. Os resultados são caracterizados pelo deslocamento total, deslocamento parcial ou o 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 este grupo de pesquisa 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 utilizada 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⁻¹; 0,001 mg.L⁻¹ e 0,005 mg.L⁻¹, em tolueno. Essas soluções foram analisadas em um espectrofotômetro de UV visível, marca LAMOTTE, modelo Smart Spectro/spectrol, em comprimento de onda fixo em 402 nm (Gonzales e Middea, 1988), obtendo-se, assim, a curva de calibração (concentração inicial x absorbância), 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⁻¹; 0,001 mg.L⁻¹; 0,0015 mg.L⁻¹; 0,0025 mg.L⁻¹; 0,005 mg.L⁻¹; 0,0075 mg.L⁻¹; 0,01 mg.L⁻¹; 0,0125 mg.L⁻¹; 0,015 mg.L⁻¹ e 0,02 mg.L⁻¹. A seguir, os tubos foram agitados em mesa agitadora Shaker, marca Ika Labotechnik, modelo HS501 digital, durante 4 h e 200 rpm. Após esse período, o material foi centrifugado durante 30 min a 3.000 rpm, em centrífuga marca FANEM, modelo 209. Cada material sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro de UV visível, em comprimento de onda fixo em 402 nm.

Com isso, pode-se obter os valores de absorbância após a adsorção com o agregado mineral. De posse desses 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

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 5 a 10 min, 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 ± 3 °C por 16 h. 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 ± 1 °C por 24 h. Posteriormente, a amostra foi removida para outro banho com temperatura de $25 \pm 0,5$ °C por um período de 2 ± 1 h e então posteriormente submetida ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

O resultado do ensaio é obtido em percentagem, 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 (%) = $(RC/RSC) \times 100$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação do Resíduo

3.1.1 Análise Mineralógica

A Tabela I apresenta o resultado da análise mineralógica realizada com o resíduo, onde se pode verificar uma alta concentração de feldspatos, chegando-se a valores em torno de 64 %, e quartzo em torno

de 34 %. A fim 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 desse resíduo no processo de pavimentação.

Tabela I - Composição mineralógica dos agregados minerais

Minerais (%)	Basalto	Resíduo
Feldspato	64	63,6
Granada	--	2
Piroxênios	30	--

3.1.2 Análise Química

Os resultados obtidos por fluorescência de raios-x dos agregados minerais estão apresentados na Tabela II. Pode-se verificar que o basalto e o resíduo 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 esse compatível com a literatura para esses materiais (Dana, 1970).

Tabela II - Análise química dos agregados minerais

Composição (%)	Resíduo	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
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.

Essa 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 (Roberts *et al*, 1996).

No que diz respeito ao resíduo 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 Ensaio de 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 (Marques, 2001) No que diz respeito ao resíduo, obteve-se um valor de 22 %, classificando tal resíduo como adequado para pavimentação.

3.1.5 Distribuição Granulométrica

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

Tabela III - Distribuição granulométrica do resíduo.

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 resíduo foram respectivamente 2,65 e 2,57 kg.m⁻³. O valor médio para esse tipo de rochas é da ordem de 2,65 g.mL⁻¹, isso 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⁻¹ (Kihel, 1979).

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 resíduo.

3.2.2 Ensaio de Adsorção

No que diz respeito à adsorção físico-química, pôde-se verificar uma adsorção máxima, em torno de 3,6 mg.g⁻¹ para o CAP na superfície do resíduo. Isso 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

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

4. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que o resíduo 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

- AASHTO T 283/89 – LOTTMAN. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, normas ASTM.
- ASTM D 4791 - Partículas Chatas e Alongadas no Agregado Graúdo.
- Dana, J. D. 1970. Manual de Mineralogia, São Paulo, SP: EDUSP, vol. 1 e 2.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 035/98. 1998. Agregados – Determinação de Abrasão Los Angeles, Rio de Janeiro, RJ, p.6.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 083/98. 1998. Agregados – Análise Granulométrica, Rio de Janeiro, RJ, p.3.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Ministério dos Transportes, Brasil, ME 081/94. 1998. Agregado – Determinação de Densidade Relativa, Rio de Janeiro, RJ, p.3.
- Elphinstone, G. M. 1997. 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, USA.
- Farias, C. E. G. 1995. Mercado Nacional. Séries Estudos Econômicos Sobre Rochas, vol. 2, Fortaleza, CE.
- Franquet, P. F. 1999. Adhesividad y Activación, Carreteras 103, Septiembre.
- Gonzales, G. e Middea, A. 1988. The Properties of the Calcite-solution Interface in the Presence of Adsorbed Resins or Asphaltenes. Colloids and Surfaces, vol. 33, p 217-229.
- Kiehl, J. E. 1979. Manual de Edafologia: Relações Solo-Planta, São Paulo, SP. Editora Agronômica Ceres, p. 264.
- Marques, G. L. O. 2001. Procedimentos de Avaliação e Caracterização de Agregados Minerais Usados na Pavimentação Asfáltica, in: I Seminário de Qualificação ao Doutorado, COPPE-UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Nascimento, R. R. 2005. Utilização de Agregados de Argila Calcificada em Pavimentação: Uma Alternativa para o Estado do Acre”, Dissertação de Mestrado, COPPE- Engenharia Civil, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

Ribeiro, R. C. C. 2003. Interação entre Cimentos Asfálticos e seus Constituintes com Agregados Minerais na Formação do Asfalto, Tese de Mestrado, EQ – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

Roberts, F. L.; Kandhal, P. S.; Brown, E. R.; Lee D. Y. e Kennedy, T. W. 1996. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction, in: NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, USA.

Silva, S. A. C. 1998. 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.