



FARIAS, Raíssa Rodrigues Cardoso¹; BARBOSA, Natália Barros²; ESPÍNDOLA, Aline Calheiros³.

^{1,2} Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, Alagoas, raissarodrigues.farias@gmail.com¹; barbosanataliabarros@gmail.com²;

³ Profa. Mestre em engenharia de transportes (IME), Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, Alagoas, aline.espindola@ctec.ufal.br³.

Projeto de pesquisa.

APROVEITAMENTO E APLICAÇÃO DE RESÍDUO ORIUNDO DA PRODUÇÃO DE MÁRMORE E GRANITO PARA PAVIMENTAÇÃO

Resumo. *Este estudo objetiva-se analisar as características físicas e propriedades mecânicas do resíduo de beneficiamento de mármore e granito quando adicionado ao solo, considerando sua utilização na camada de sub-base de pavimento. O solo de Jazida analisado foi coletado na região de Canapi/AL e o resíduo analisado é proveniente de Indústria Beneficiadora local. As análises foram feitas para as proporções de 20% e 42% de resíduo em relação à massa do solo, uma vez que, para estudos futuros pretende-se variar estas proporções. No estudo observou-se que o solo apresenta uma boa capacidade de suporte para pavimentação e ao ser adicionado resíduo o material continuou sendo aplicável para camada de sub-base, de acordo com as especificações do DNIT. Dessa forma, o aproveitamento de resíduos aplicado à pavimentação tem sido uma boa alternativa para redução de impactos ambientais e substituição de matérias primas.*

Palavras-chave: *Resíduo, Solo-resíduo, Sub-base, Solo, Mistura, Ensaios.*

1. INTRODUÇÃO

Dentre os processos geradores de resíduos sólidos, encontra-se o beneficiamento de mármore e granito para produção de rochas ornamentais.

Este processo libera um composto chamado de “lama” que é formado a partir da serragem dos blocos e por partículas de granalha e cal, apresentando altos teores de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e CaO. (MENEZES, R. R. *et al*, 2007)

Cerca de 25% a 30% do bloco de pedra é transformada em pó, sendo a quantidade final de resíduo de mármore e granito estimada em torno de 240.000 t/ano (MOURA *et al.*, 2002). Do qual a maior parte é depositado em córregos, lagos, depósitos a céu aberto.

Substituir matérias-primas provenientes de recursos naturais não renováveis por resíduos sólidos tem sido uma alternativa muito interessante, pois diminui os impactos ambientais e econômicos.

A construção de pavimentos demanda um grande volume de materiais, podendo acarretar em altos custos com aquisição e até mesmo com o transporte de materiais, de forma que o desenvolvimento de tecnologias para pavimentos, objetivando a diminuição dos custos e a mantendo a devida qualidade, é de extrema importância.

Diante disso, o principal objetivo deste trabalho é apresentar a possibilidade de reutilizar resíduo de beneficiamento de mármore e granito misturado com solo como camada de sub-base para pavimento flexível.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

A jazida utilizada na pesquisa está localizada na Rodovia: BR-316/AL, trecho: divisa PE/AL – Canapi, segmento km 37,20 – km 49,76, sob responsabilidade do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes).

O resíduo de beneficiamento de mármore e granito foi coletado na lagoa da Indústria Beneficiadora Granordeste, localizada em Maceió/AL e transportado em tonéis de 200 litros, em seguida, foi despejado em lonas e submetidos a secagem ao sol e posto de volta aos tonéis em local abrigado. (Lisbôa, 2004).

2.2. Caracterização do solo em estudo

Foram realizados os seguintes ensaios: Determinação da massa específica dos grãos de solo (NBR-6508/84), análise granulométrica por peneiramento e sedimentação (NBR 7181), limite de plasticidade (NBR-7180), limite de liquidez (NBR 6459), compactação (NBR-7182) e por último Índice de Suporte Califórnia (NBR 9895). Os ensaios foram feitos para as amostras de solo, resíduo isoladamente e para mistura de solo com resíduo nas proporções de 20% e 42%.

2.3. Curva de Compactação solo e mistura de solo com resíduo

Para determinação da relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca dos materiais foram realizados ensaio de compactação, com reuso de material, utilizando energia Proctor intermediária.

Sendo finalizada a compactação dos 5 corpos de prova compactados a fim de se obter dois pontos no ramo seco, um próximo a umidade ótima e dois no ramo úmido da curva de compactação. Os ensaios foram feitos para a amostra de solo e para mistura solo-resíduo (20% e 42%), em seguida, calculados os valores das umidades médias e densidade seca para cada corpo de prova e por fim sendo obtidas três curvas de compactação.

2.4. Ensaio de índice de Suporte Califórnia

Através da umidade ótima obtida no ensaio de compactação, foi realizado o ensaio de índice de Suporte Califórnia para o solo isoladamente e para a mistura com 42% de resíduo. A preparação de amostras do solo com acréscimo de resíduo foi realizada manualmente e com utilização do repartidor de amostras a fim de se obter uma mistura homogênea. Utilizou-se energia intermediária na compactação, posteriormente, os corpos-de-prova foram imersos com água em um tanque durante 4 dias. Será dada continuidade a este ensaio para o acréscimo de 20% de resíduo em massa ao solo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Limites de Atterberg

Para as amostras de solo e resíduo isoladamente e para mistura de solo com resíduo nas proporções 20% e 42% não foi possível chegar aos resultados dos limites de liquidez e plasticidade classificando estes materiais como não plástico.

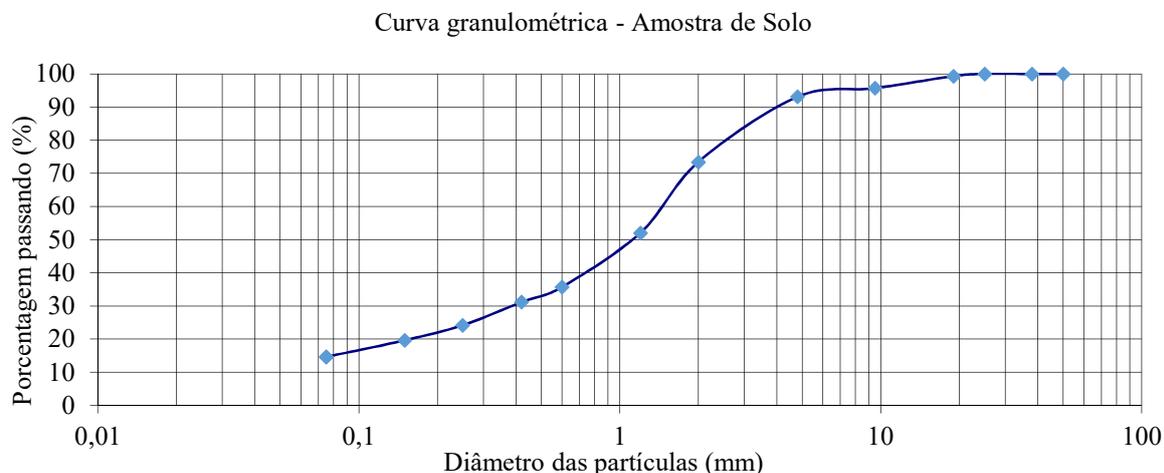
3.2 Massa Específica e Umidade Higroscópica

Na tabela 01 estão mostrados os resultados para o ensaio de massa específica dos grãos do solo e umidade higroscópica:

Amostra	Massa específica (g/cm ³)	Umidade Higroscópica (%)
Solo	2,87	0,73
Resíduo	1,75	0,87
Mistura solo-resíduo 42%	2,66	1,00
Mistura solo-resíduo 20%	-	1,05

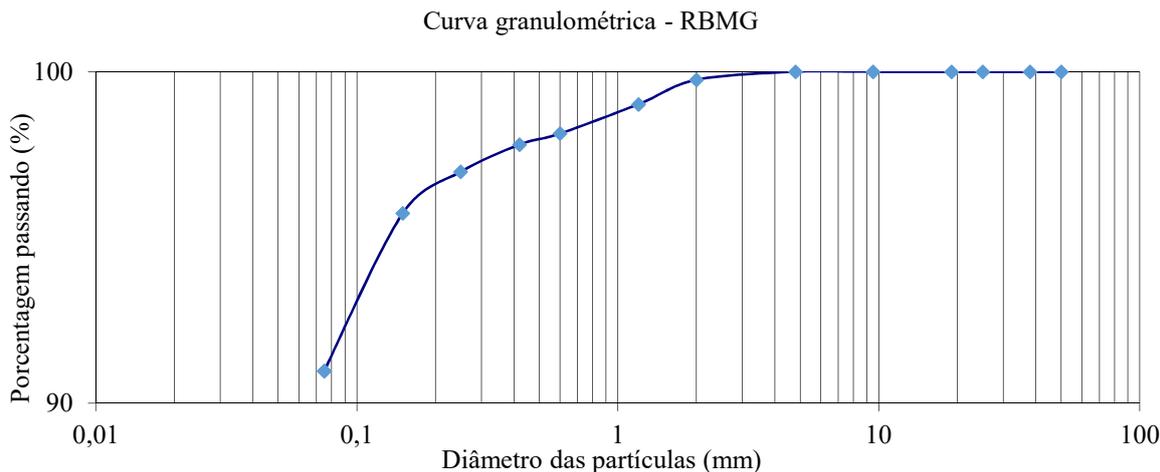
3.3 Granulometria

O gráfico da figura 01 mostra a curva granulométrica obtida para a amostra de solo em estudo:



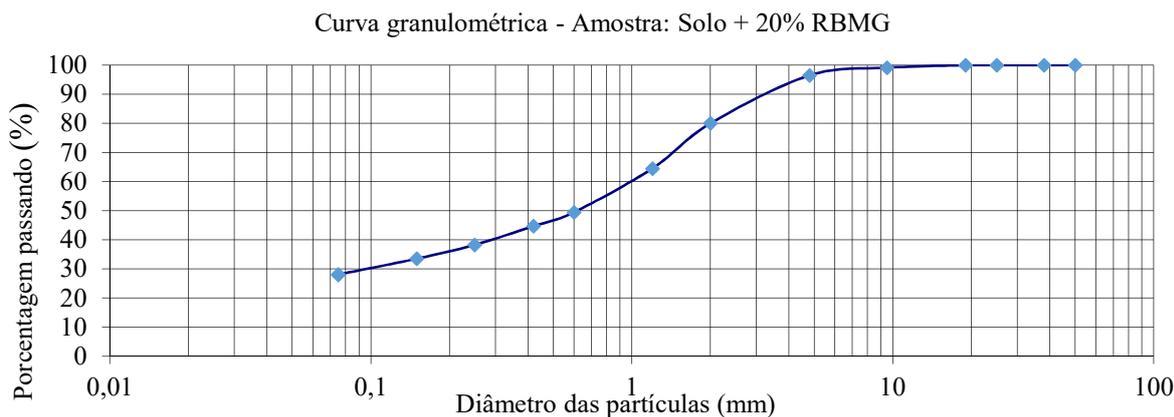
Conforme o gráfico da figura 01, observa-se que o solo da jazida em estudo é classificado como areno-pedregulhoso, apresentando: 26,59% de pedregulho, 37,69% de areia grossa, 11,53% de areia média, 9,54% de areia fina. No ensaio de sedimentação, verificou-se que o material apresenta 10,71% de silte e 2,08% de argila. Dessa forma, o solo foi classificado na faixa D do DNIT.

O gráfico da figura 02 mostra a curva granulométrica obtida para o resíduo de beneficiamento de mármore e granito (RBMG) em estudo:



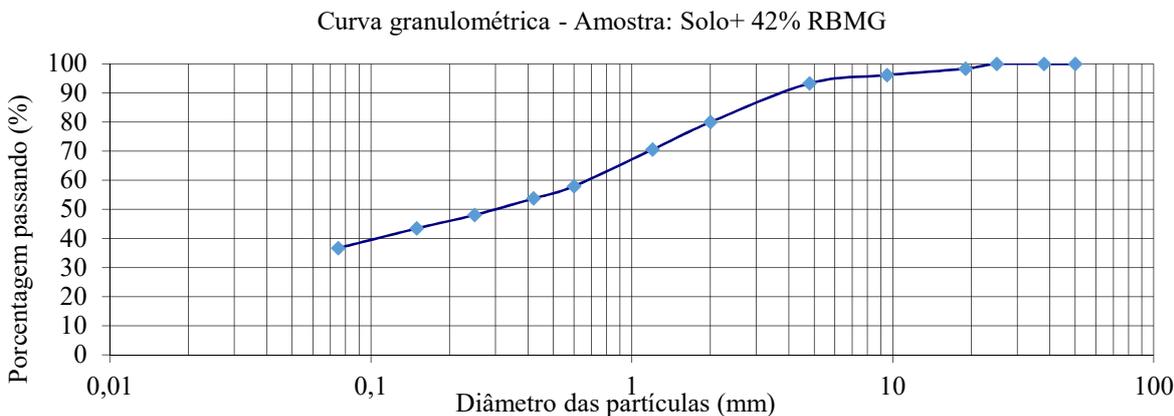
De acordo com o gráfico da figura 02, observa-se que o resíduo de beneficiamento de mármore e granito é classificado como silte-arenoso, com 0,75% de areia grossa, 0,65% de areia média e 18,39% de areia fina. Com o ensaio de sedimentação observou-se um percentual de 66,11% de silte e 13,85% de argila.

O gráfico da figura 03 mostra a curva granulométrica obtida para a mistura de solo com 20% de resíduo:



De acordo com o gráfico da figura 03, observa-se que o solo com adição de 20% de resíduo foi classificado como areno-pedregulhoso, apresentando: 20,00% de pedregulho, 30,53% de areia grossa, 11,22% de areia média, 10,18% de areia fina. Dessa forma, o solo foi classificado na faixa F do DNIT.

O gráfico da figura 04 mostra a curva granulométrica obtida para a mistura de solo com 40% de resíduo:



Em relação ao gráfico da figura 04, observa-se que para teor de 42%, observa-se que o solo continua com a mesma classificação: areno-pedregulhoso, com: 20,05% de pedregulho, 21,99% de areia grossa, 9,88% de areia média e 11,39% de areia fina. O material não se enquadra na faixa granulométrica do DNIT.

3.4 Caracterização Mecânica

A tabela 02, a seguir mostra os resultados para os ensaios de compactação e CBR para as amostras de solo e mistura de solo com resíduo:

Tabela 02. Caracterização mecânica				
Amostra	Umidade Ótima (%)	Densidade seca máxima (g/cm ³)	CBR (%)	Expansão (%)
Solo	9	2,05	38,20	-0,10
Solo-resíduo 42%	9,5	1,98	21,3	0,66
Solo-resíduo 20%	9,7	2,02	-	-

Os resultados apresentados na tabela 02, indicaram os valores aproximados para umidade ótima e densidade seca máxima. Para amostra de solo, o valor do CBR: 38% e expansão: -0,10%, qualifica o solo em estudo como um material adequado para camada de sub-base, atendendo as exigências do DNIT (2006) para $CBR \geq 20\%$ e $expansão \leq 1\%$.

Dessa forma, a adição de resíduo ao solo tem como objetivo principal verificar se o solo continua apresentando características físicas favoráveis à camada de sub-base ao ser adicionado teor de resíduo.

Ao ser adicionado 42% de resíduo ao solo, observam-se valores para CBR de 21,30% e expansão de 0,66% indicando um material adequado para camada de sub-base, atendendo as exigências do DNIT (2006) para $CBR \geq 20\%$ e $expansão \leq 1\%$.

Para análise da expansão o solo-resíduo apresentou uma melhoria, já que o solo sem adição de resíduos apresentou uma pequena retração. De acordo com Bernucci *et al* (2007, p. 363), isso pode acarretar na possibilidade de aparecimento de fissuras e trincas.

Obs.: A tabela 02 não constam os valores para o ensaio de CBR para mistura com 20% de resíduo porque os ensaios ainda serão realizados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das análises apresentadas, observa-se que mesmo o solo apresentando uma boa capacidade de suporte, os acréscimos de resíduo podem ser considerados apropriados para camada de sub-base. A partir da análise granulométrica, a adição de resíduo em 20%, enquadrando o material na faixa F do DNIT, isso é explicado pelo fato do resíduo ser um material inerte. Portanto, serão estudados mistura de solo-resíduo em outros projetos de pavimentação no Estado de Alagoas onde a amostra de solo não tenha boas propriedades a serem utilizadas em camada de sub-base, de forma a otimizar as proporções com as características desejáveis.

Ainda em relação a região de Canapi-AL a quantidade em volume de resíduo estimada nas proporções de 20% e 42% é respectivamente de 27.318,72 m³ e 57.369,31 m³ para um volume de 136.593,6 m³ de solo viabilizando uma alternativa de ganhos ambientais e econômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solos -Análise granulométrica: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo- Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo- Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Índice de Suporte Califórnia: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

DNIT –DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. Manual de pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

BERNUCCI, L.B., L. M. MOTTA, J. A. P. CERATTI E J. B. SOARES. Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.1. ed. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

MENEZES, R. R. et al. Análise da co-utilização do resíduo de beneficiamento do caulim e serragem de granito para produção de blocos e telhas cerâmicos. Cerâmica, São Paulo, v. 53, n. 326, p. 192-199, Junho 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132007000200014>.

MOURA, et al. Utilização do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais (mármore e granitos) na construção civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IX, 2002, Foz do Iguaçu. Disponível em:http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1653_1660.pdf.

LISBÔA, E.M. Obtenção do Concreto Auto-Adensável utilizando Resíduo do Beneficiamento do Mármore e Granito e Estudo de Propriedades Mecânicas. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2003.