

Avaliação do Uso de Solo Cimento com Adição de Resíduo de Exploração de Rocha Ornamental em Pavimentos Rodoviários

Natália Caetano Nogueira Dias

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, nataliacndias@gmail.com

Patrício José Moreira Pires, D.Sc.

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, patricio.pires@gmail.com

Rayane Salviano de Oliveira Silva

Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil, rayanesalvianoos@gmail.com

RESUMO: O Espírito Santo é o maior produtor de rochas ornamentais do Brasil. Estima-se que a indústria de rochas produz 4000 toneladas por mês de resíduos oriundos do desdobramento de mármore e granitos, também chamado de lama abrasiva. O crescimento da malha viária do estado do Espírito Santo tem tido dificuldade de encontrar materiais adequados a fim de utilização em terraplenagem. Aliado a isso, temos que, o setor da construção civil demanda elevado consumo de recursos naturais e é um grande gerador de resíduo, portanto, apresenta a necessidade de integração de suas práticas para a prevenção, reuso e reciclagem dos resíduos gerados. Com base nisso, nas últimas décadas houve significativas mudanças de posturas em relação ao meio ambiente. A necessidade de preservação aliado a necessidade de um solo com características adequadas leva a construção civil à busca de novos conceitos, novas soluções técnicas, que visem a sustentabilidade de suas atividades. O presente estudo tem como objetivo analisar a viabilidade da estabilização de misturas de solo e lama abrasiva com a adição agentes cimentantes a fim de melhorar as características dessas misturas, e utilizá-las na construção de bases e sub-base para pavimentos. Para isto será realizada a estabilização química, no qual se adicionou teores mínimos de cal e cimento do tipo Portland como alternativa para melhoramento das propriedades desses materiais. Foram moldados corpos de prova de solo e lama com porcentagem de lama abrasiva de 20% em relação à massa total e porcentagens de cal e cimento entre 5% e 10% em relação à massa total. Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de compressão simples, absorção e de permeabilidade. Resultados preliminares dos ensaios de compressão simples indicam que as amostras ensaiadas apresentam valores inferiores às recomendações normativas para utilização de solo-cimento. Entretanto, obteve-se uma melhora das propriedades do material ensaiado, quando comparado aos valores do solo em seu estado natural, o qual se apresentava inservível para utilização em pavimentos. A adequação no valor do teor de lama abrasiva deve ser avaliada a fim de melhorar as propriedades do material estudado.

PALAVRAS-CHAVE: lama abrasiva, estabilização química de solos, resíduos, bases e sub-bases de pavimentos rodoviários.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, com a busca de processos mais sustentáveis e a preocupação crescente com a destinação final dos resíduos da indústria de

rochas ornamentais estudos sobre uma destinação alternativa vem ganhando mais espaço. A estabilização de solos para utilização em obras viárias, é uma área onde a implantação de novas técnicas agregando tais resíduos pode-

se tornar uma opção com grande custo benefício, visto que obras desse porte podem absorver quantidades significativas de resíduos.

Com o crime ambiental ocorrido em Mariana, Minas Gerais, no final de 2015, reacendeu as discussões a respeito da segurança de barragens, e mais ainda sobre uma destinação útil e sustentável para os resíduos que são despejados oriundos da indústria extrativista. A destinação da lama abrasiva, muitas vezes, é feita de maneira inadequada causando uma série de impactos ambientais, visto o grande volume de resíduos gerado, como mostra a Figura 1. Destacam-se entre os impactos gerados pela lama abrasiva a contaminação de corpos hídricos, colmatção dos solos, destruição da vegetação nativa, erosão, assoreamento e uma série de outros impactos (SANTOS et al, 2010).

Tendo em vista essa série de impactos gerados pela inadequada destinação desses resíduo, o presente trabalho tem como objetivo principal a destinação sustentável para a lama abrasiva. Para isso, estudou-se a viabilidade da estabilização do solo com a adição da lama e de agentes cimentantes com a finalidade de melhorar as características do solo, e utilizá-lo na construção de bases e sub-bases para pavimentos. Para esta estabilização química buscou-se adicionar teores mínimos de cal e cimento do tipo Portland como alternativa para melhoramento das propriedades desses materiais.



Figura 1. Tanques de rejeitos da extração de rochas ornamentais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada consiste basicamente em ensaios laboratoriais, usualmente usados na pavimentação, como o ensaio de compactação, compressão simples e permeabilidade, afim de obter parâmetros que caracterizam quanto ao potencial do solo para ser usado em terraplenagem. Todos os ensaios e a preparação das amostras seguiram as especificações técnicas da ABNT e da literatura técnica existente.

Toda a amostragem de solo foi extraída da região de Cariacica, onde estão sendo realizadas obras de conclusão da Rodovia Leste-Oeste, interligando os municípios de Cariacica e Vila Velha, ambos localizados no estado do Espírito Santo.

A obra em si já enfrentou vários problemas relacionados com o recalque devido ao solo mole presente na região.

A amostra de lama abrasiva utilizada nos ensaios foi obtida em uma pedreira localizada no município de Colatina, região noroeste do Estado do Espírito Santo.

O cimento e a cal são materiais muito comuns na construção civil e bastante difundidos na pavimentação no que diz respeito a estabilização química.

2.1 Lama abrasiva

Após a lavra das rochas nas pedreiras, elas são encaminhadas para o processo de beneficiamento nas serrarias. Nas serrarias, as rochas serão preparadas para comercialização, recebendo um tratamento final a fim de adequá-las às especificações de dimensões e acabamento superficial exigido pelo cliente. O processo de beneficiamento é dividido em duas etapas distintas: o beneficiamento primário e o beneficiamento final.

A lama (poupa abrasiva) é utilizada no corte do bloco, sua constituição varia de acordo com tipo das lâminas dos teares de corte. No caso de teares de fios diamantados a polpa abrasiva é constituída de rocha moída e água. Nos teares convencionais ou multilâminas, é acrescida a polpa, cal e gralha de aço que tem como objetivo a lubrificação e controle do

aquecimento das lâminas de serragem, evitar a oxidação das lâminas, efetuar a limpeza dos canais entre as chapas, e por último, servir como abrasivo para facilitar o processo de corte.

2.2 Preparação das amostras e execução dos ensaios

Todo o material foi dosado e misturado seco e porcentagem de lama utilizado em todas as amostras foi de 20% em relação a massa total da mistura. Foram preparadas no total 6 (seis) tipos distintos de amostras:

- a) Amostra A – Solo Puro
- b) Amostra B – Solo e Lama Abrasiva
- c) Amostra C – Solo, Lama Abrasiva e 5% de Cimento Portland
- d) Amostra D – Solo, Lama Abrasiva e 10% de Cimento Portland
- e) Amostra E – Solo, Lama Abrasiva e 5% de Cal
- f) Amostra F – Solo, Lama Abrasiva e 10% de Cal

Com os materiais homogeneizados, iniciou-se a moldagem gradativa dos corpos de prova, dando início aos ensaios previstos.

A energia de compactação escolhida para o ensaio foi a Proctor Normal, escolha baseada na norma DNER ME-202:94, a qual prescreve a utilização do mesmo para o caso de moldagem de corpos de provas tipo solo-cimento. A compactação, conforme mostra Figura 2, confere ao solo um aumento de seu peso específico e resistência ao cisalhamento, e uma diminuição do índice de vazios, permeabilidade e compressibilidade.

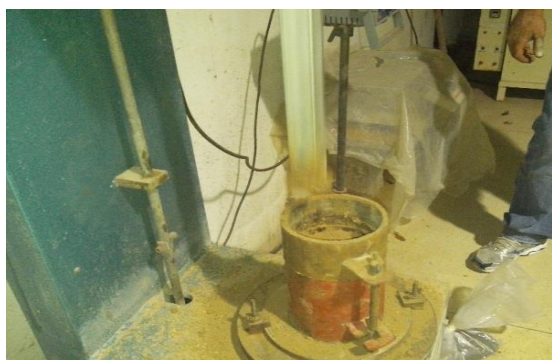


Figura 2. Compactação do Solo.

Realizada a moldagem, os corpos de prova foram armazenados em câmara úmida localizada no LEMAC - Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção, onde ficaram por aproximadamente uma semana, para realização da cura dos mesmos, e assim, prosseguir com os ensaios de compressão simples e permeabilidade.

Após término do período de cura, os corpos de prova reservados para o ensaio de compressão simples foram retificados e imersos em água por um período de 4h, e depois submetidos ao ensaio de compressão, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3. Ensaio de Compressão Simples.

Já o ensaio de permeabilidade em laboratório foi realizado conforme o método “A” da NBR 14545 (ABNT,2000), vide Figura 4.



Figura 4. Ensaio de Permeabilidade.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 Compressão Simples

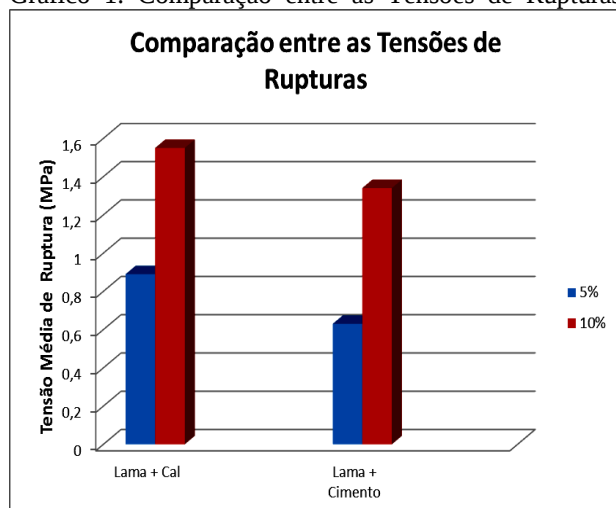
O ensaio de compressão simples, conforme a NBR 12025 (ABNT, 1990), foi realizado em parceria com Costa e Joaquim (2014), e na Tabela 1 encontram-se os resultados obtidos.

Tabela 1. Resultados de Compressão Simples.

Amostra	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Carga de Ruptura (kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Média das Tensões (MPa)
C1	99,7	127,1	413	0,53	0,63
C2	100,0	127,1	568	0,72	
D1	100,0	127,2	1308	1,67	1,34
D2	99,2	127,5	777	1,01	
E1	101,5	128,0	792	0,98	0,89
E2	100,8	126,5	634	0,79	
F1	100,1	127,9	1549	1,97	1,56
F2	100,7	124,8	907	1,14	

A partir desses resultados, podemos afirmar que a mistura de lama e cal apresentou melhor efeito na resistência a compressão nos dois teores ensaiados quando comparada a mistura de lama e cimento (Gráfico 1), pode-se atribuir esse resultado a redução do limite de plasticidade e, conseqüentemente, do índice de plasticidade que a cal confere a mistura, através de suas interações com o solo.

Gráfico 1. Comparação entre as Tensões de Rupturas.



O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, através da norma DNIT 143:2010, estabelece que solos estabilizados

quimicamente com cimento deve apresentar resistência mínima de 2,1 MPa. Contudo, estendendo esse critério às demais amostras, todos os corpos de prova ensaiados alcançaram resistências inferiores às mínimas necessárias. Atribui-se esse fato à baixa qualidade do solo em estudo. Entretanto, é possível observar um incremento de resistência considerável já que não foi possível a realização do ensaio nos corpos de prova sem adição de agentes cimentantes, pois ao colocá-los imersos no tanque eles desfragmentaram-se.

3.2 Permeabilidade

Lambe e Whitman (1969) destacam que a permeabilidade do solo é influenciada por suas propriedades citando como as mais importantes o tamanho das partículas, o índice de vazios, a composição, a estrutura e o grau de saturação.

Åhnberg (2006) salienta que a permeabilidade de solos estabilizados importa por vários motivos. A permeabilidade pode afetar resposta da poro-pressão ao carregamento, e ainda dependendo da taxa do carregamento a permeabilidade exerce influência sobre que condições de drenagem governam o comportamento da força aplicada. Além disso, outro ponto relevante em relação a permeabilidade é sua influencia na taxa de consolidação após a construção e um potencial impacto da lixiviação dos componentes da mistura de solo no ambiente

Após a realização do ensaio de permeabilidade conforme a NBR 14545 (ABNT, 2000), foram obtidos os valores do coeficiente de permeabilidade, k , e do coeficiente de permeabilidade na temperatura de 20° C, k_{20} , conforme exibidos na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados Obtidos.

Amostra	k (cm/s)	Tm (°C)	Fator de Correção	k20 (cm/s)
A	2,90E-06	25	0,887	2,60E-06
C	9,30E-07	23	0,930	8,70E-07
D	4,40E-07	25	0,887	3,90E-07
E	8,40E-06	23	0,930	7,80E-06
F	1,10E-06	25	0,887	9,40E-06

Através dos resultados obtidos, as misturas analisadas podem ser classificadas segundo a

Tabela 3, com grau de permeabilidade muito baixo. Apesar da literatura técnica não esclarecer quais são os valores de permeabilidade necessários para bases e sub-bases rodoviárias, pode-se afirmar que os valores alcançados com os ensaios apresentam-se coerentes com os utilizados usualmente na construção rodoviária.

Tabela 3. Classificação dos Solos de Acordo com o Coeficiente de Permeabilidade.

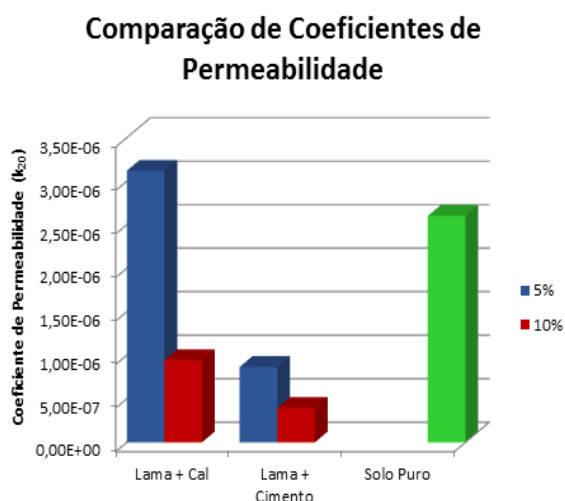
Grau de Permeabilidade	Valor de k (cm/s)
Alto	$> 10^{-1}$
Médio	10^{-1} a 10^{-3}
Baixo	10^{-3} a 10^{-5}
Muito Baixo	10^{-5} a 10^{-7}
Praticamente Impermeável	$> 10^{-7}$

Fonte: Terzaghi & Peck(1967)

As misturas com a porcentagem de 10% de material cimentante apresentaram-se menor permeabilidade do que as demais, pode-se atribuir esse comportamento a colmatação do poros tornando o número de vazios desses corpos de prova inferiores e então dificultando a percolação de água.

Porém, o corpo de prova de cal com a porcentagem de 5%, apresentou um comportamento diferente do previsto, com permeabilidade acima da permeabilidade do corpo de prova de solo puro na ordem de 20%, conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2. Comparação entre os Coeficientes de Permeabilidade.



Contudo, Silva (2010) discorre que a cal provoca variações das características de

permeabilidade de um solo. Grande parte dos solos argilosos ao serem estabilizados com cal tem seu coeficiente de permeabilidade aumentado.

No caso do solo do presente trabalho ser um solo silto-argiloso caracterizado previamente no estudo de Gonçalves (2013), Silva (2010) salienta que a permeabilidade nesses tipos de solo aumenta com adição de cal devido a criação de uma estrutura agregada com maior porosidade e com maior número de vazios, inicialmente das reações de floculação e em um segundo momento com as reações pozolanicas. Para teores de água abaixo do valor ótimo a quantidade de cal não influencia, presumivelmente, por esses solos possuírem estrutura floculada. No entanto, o teor de cal exerce influência considerável no coeficiente de permeabilidade quando a quantidade de água é ótima ou superior, que é o caso do presente trabalho, o que pode ser um explicação para os resultados obtidos.

Para as concentrações de 10% de cal foi obtida em uma menor permeabilidade quando comparada com a permeabilidade correspondente a concentrações de 5%, ainda segundo Silva (2010), com o aumento tempo de cura a permeabilidade da mistura diminui devido ao processo de cimentação que preenche os vazios e dificulta a percolação que atua ao longo do tempo, outra justificativa pode ser atribuída à precipitação de carbonato de cálcio que se acumula nos poros resultantes das reações de carbonatação.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo possibilitou concluir que a lama abrasiva pode ser utilizada em conjunto com outros aditivos, cimento ou cal, neste caso, a fim de estabilizar solos quimicamente. Diferente do previsto inicialmente, as amostras que utilizaram a cal como aditivo apresentaram melhor desempenho nos ensaios de compressão simples quando comparada as amostras que fizeram o uso de cimento. Entretanto, a adição de lama abrasiva e aditivos conseguiu melhorar os resultados, ainda que insuficientes para que as misturas em estudo atendessem as normas técnicas vigentes. Contudo, o solo em estudo

apresenta qualidade questionável já que estudos anteriores já apontavam resultados insatisfatórios.

No que tange a permeabilidade, quando comparada às amostras com a mesma adição, porém, com diferentes teores de aditivos entre em si, conclui-se que o aumento dos teores de aditivos causa uma diminuição significativa na permeabilidade das amostras. Pode-se traçar também uma relação indireta, da permeabilidade das amostras com a resistência a compressão, visto que com a diminuição da permeabilidade as amostras apresentaram maior resistência.

AGRADECIMENTOS

À Deus. Aos professores e aos amigos que fizeram parte desse trabalho. Aos nossos familiares pelo apoio.

REFERÊNCIAS

- Ahnberg, H. *Strength of stabilised soils: A laboratory study on clays and organic soils stabilized with different types of binder*. Lund: Lund University 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.025 MB 3361: *Solo cimento –Ensaio de compressão simples de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1990.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14545: *Determinação de coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável*. Rio de Janeiro, 2000.
- Costa, C. C. B. ; Joaquim, D. O. *Avaliação do Potencial de Reutilização de Resíduo de Corte de Rocha ornamental em misturas de Solo-cimento para obras de terraplenagem*. 2014. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. ME 202: *Solo cimento: Moldagem e cura moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro, 1994.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. ES 143: *Pavimentação – Base de solo cimento – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, 2010.
- Gonçalves, R. M. *Avaliação do potencial de reutilização de lama abrasiva em mistura com solos utilizados em bases e sub-bases de pavimentos rodoviários*. 2013. Projeto de Graduação – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.
- Lambe, T. V.; Whitman, R. V. *Soil Mechanics*. 1 ed. New York: John Wiley & Sons, 1969.
- Santos, J. G.; Silva, S. S. F.; Nascimento, N. M. S.; Trajano, M. F.; Mello, V. S. *Caracterização da lama abrasiva gerada nos processos de beneficiamento do granito: um estudo de caso na Granfugi localizada em campina grande-PB*. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos, 2010.
- Silva, M. F. *Estudos comparativos de dois solos argilosos estabilizados com cal*. 2010. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Nova Lisboa. Lisboa, 2010.
- Terzaghi, K.; Peck, R. B. *Soil mechanics in engineering practice*. Second Edition: John Wiley & Sons, New York, 1967. 729p.