

Determinação da Influência da Incorporação do Pó de Pedra em Mistura de Solo-Cimento

Lucas Grandó

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, grandolucas@outlook.com

Fabiano Alexandre Nienov

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, fabiano.nienov@unoesc.com.br

Lucas Quiocca Zampieri

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, lucas.zampieri@unoesc.com.br

Gislaine Luvizão

Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, gislaine.luvizao@unoesc.com.br

RESUMO: A escassez de matérias primas faz com que se busque continuamente novas fontes. O campo da engenharia é um dos mais afetados por este fato, principalmente quando voltamos para obras rodoviárias, a qual necessita, em grande escala, jazidas de materiais naturais. Dependendo do local, os materiais encontrados nas jazidas próximas, não atendem as qualidades necessárias, e o transporte, de materiais de outras regiões tornam-se inviáveis para a execução das obras. Uma alternativa para este problema seria então, o melhoramento do material encontrado. Aliando este problema com importância atual voltada ao meio ambiente, no que diz respeito ao reaproveitamento, ou então a reciclagem, resolveu-se utilizar o pó de pedra, um resíduo gerado pelo corte das pedras nas marmorarias, como adição em mistura de solo-cimento. O principal foco de sua utilização é verificar a melhora que este resíduo proporciona nas propriedades de misturas de solo-cimento e a viabilidade de se utilizar este material nas misturas. Pode-se verificar que a incorporação do pó de pedra nas misturas de solo-cimento proporcionou um aumento significativo na resistência à compressão simples. Analisando-se as resistências obtidas para os diversos traços em estudos verificou-se que a variação de 5% no teor de pó de pedra, contribuiu com o aumento de aproximadamente 60% na resistência do solo-cimento, chegando a contribuir com um aumento de aproximadamente 130% na resistência para uma variação de 10% no teor de pó de pedra. Sendo assim, este trabalho apresenta os ensaios necessários para verificar a resistência à compressão simples do solo-cimento incorporado com pó de pedra, visando sua utilização em bases de pavimentos asfálticos.

PALAVRAS-CHAVE: Pó de pedra, Solo-Cimento, Resistência.

1 INTRODUÇÃO

O setor rodoviário é responsável por grandes obras no país, e a sua necessidade por jazidas de materiais naturais, causam, muitas vezes, grandes problemas ambientais.

Um material bastante utilizado na base de pavimentos é o solo, porém para ser utilizado ele deve apresentar uma boa resistência, fator

que muitas vezes não é encontrado. Existem técnicas que melhoram as propriedades dos solos tornando-os apropriados para a utilização de bases de pavimentos, e uma delas é a adição de cimento.

Quando adicionado cimento ao solo este passa a ser denominado solo-cimento e sua incorporação melhora as suas propriedades físicas, porém encarece seu custo. Por conta

disto, muitas pesquisas vêm sendo realizadas visando a redução do custo para a estabilização do solo, através da substituição parcial do cimento Portland por diversas adições minerais.

De acordo com Dallacort e outros (2002) estão sendo realizados estudos, para estabilizar o solo, através de adições que substituem parcialmente o cimento Portland, a fim de garantir economia no custo do material.

Adições como o pó de calcário moído, devido sua finura, podem preencher os vazios entre as partículas maiores do cimento aumentando, assim, a compacidade do solo e, por consequência, o aumento de sua resistência. (DALLACORT et al., 2002).

Batalione (2007) afirma que o rejeito de mineração e de pedreiras vem sendo estudados por centros de pesquisas no Brasil e, dentro da engenharia rodoviária, estas pesquisas apontam as potencialidades do uso destes rejeitos, tanto de mineração e outros processos industriais, para a correção, estabilização e reforços de solo.

Segundo Zampieri et al., (2014), a geração de resíduos por empresas tem se mostrado um ponto agravante em relação à sustentabilidade ambiental. Porém, uma das alternativas para tentar minimizar os danos é o reaproveitamento desses resíduos, aplicados em diferentes setores da engenharia civil, como por exemplo, no melhoramento de solo. Dessa forma, é possível se obter um novo material geotécnico com custo inferior, aliado a uma melhora das suas características mecânicas.

Diversos estudos sobre estabilização de solos são conduzidos com a intenção de reduzir o custo, através da substituição do cimento Portland por diversas adições minerais, tais como: cinza da casca do arroz, sílica ativa, cinza volante, entre outros. Essas adições fazem ocorrer reações pozolânicas que aumentam a resistência do solo, proporcionando bons resultados.

Para caracterizar os resíduos no Brasil a NBR 10.004:2004, faz três diferenciações em classes distintas: classe I (perigosos), classe II (não-inertes) e classe III (inertes). A partir dessa classificação os geradores podem fazer um plano de identificação do risco e alternativas de reaproveitamento.

Levando em conta estes aspectos, resolveu-se utilizar o pó de pedra, resíduo de classe II,

geralmente descartado ao meio ambiente pelas marmorarias, como complemento ao solo-cimento.

Este trabalho relata e apresenta os estudos e experiências necessárias para fazer possível a utilização do pó de pedra como complemento ao solo-cimento.

2 SOLO-CIMENTO

Sabe-se que o ganho de resistência de uma mistura de solo-cimento envolve a alteração das estruturas minerais constituintes do solo, resultado das reações de cimentação primárias e secundárias (MITCHELL; HERZOG, 1963).

O reaproveitamento dos subprodutos industriais dentro das áreas geotécnicas pode proporcionar benefícios ambientais e econômicos, obtendo-se melhorias nas características do solo quando realizados de forma metódica, determinando as quantidades necessárias dos materiais empregados potencializando os resultados finais (CONSOLI et al., 2011).

Conforme sugerido por Ingles e Metcalf (1972), para que seja possível a obtenção de bons resultados as misturas de solo com cimento devem priorizar o uso do cimento Portland de alta resistência inicial (ARI), que é o mais adequado, pois este tipo de cimento apresenta maiores teores de silicatos de cálcio, permitindo uma reação de hidratação mais rápida, não sendo afetado em demasia pela presença de substâncias inibitórias à hidratação, normalmente encontradas na matéria orgânica.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para os teores de cimento, utilizou-se como parâmetro a NBR 12253:2012. Portanto, com base na norma atribuiu-se teores de 6%, 8% e 10% cimento. Esta norma recomenda que o teor mínimo de cimento seja de 5% podendo ser menor desde que o solo-cimento atinja 2,1 MPa de resistência ao sétimo dia de cura. Para o teor de pó de pedra necessitou realizar pesquisas de estudos semelhantes a este. Como referência utilizou-se o estudo feito por Dallacort e outros (2002) que foi apresentado pela Revista

Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, o qual possui como tema “Resistência à Compressão do Solo-cimento, com Substituição Parcial do Cimento Portland por Resíduo Cerâmico Moído”. Optou-se em realizar os ensaios com teores de pó de pedra de 5%, 10% e 15%, combinados com cada um dos teores de cimento já mencionados.

O cimento utilizado para a realização dos ensaios refere-se ao cimento Portland CPV – Ari, produzido pela empresa ITAMBÉ. O pó de pedra foi obtido na Marmoraria Molin, localizada na cidade de Joaçaba/SC. O pó obtido é resultante do corte das pedras de mármore e granito realizado pelas serras de corte.

Sendo assim os ensaios foram realizados para nove traços diferentes. Formando as seguintes combinações, variando a adição de 5, 10 e 15% de pó de pedra e 6, 8 e 10% de cimento.

O solo utilizado para os ensaios consiste em areia média adquirida no comércio local do município de Água Doce/SC.

O solo foi seco em estufa e armazenado, assim como o cimento, em sacos plásticos a fim de evitar a absorção de umidade.

A quantidade total de solo utilizado, para a moldagem dos 81 corpos de prova e para os ensaios de compactação e granulometria, foi de aproximadamente 165 kg.

A moldagem e cura, dos corpos-de-prova de solo-cimento, foram realizadas de acordo com as recomendações da NBR 12024 (1992). Para início do ensaio, determinou-se o peso e as dimensões do cilindro a ser utilizado para a compactação, e fez-se a preparação da amostra a ser compactada.

Para preparação da amostra, pesou-se a quantidade exata de cada material (solo arenoso, pó de pedra e cimento), de acordo com suas devidas porcentagens, e realizou-se a homogeneização. Imediatamente após a confecção da mistura seca, adicionou-se água na quantidade suficiente para atingir a umidade ótima, determinada pelo ensaio de compactação (Ensaio de Proctor). Misturou-se todo o material até sua completa homogeneização.

A compactação dentro do cilindro foi realizada em 3 camadas de mesma espessura, sendo que em cada camada aplicou-se 26 golpes

com o soquete para energia normal de compactação. Com o auxílio de um extrator, retirou-se o corpo-de-prova de solo-cimento de dentro do cilindro e este, com cuidado, foi lacrado dentro de um saco plástico para evitar a perda de umidade.

Foram rompidos os corpos de prova com 7, 14 e 28 dias de cura para verificação da resistência a compressão simples.

Para cada traço foram substituídas frações de solo por resíduo e cimento, conforme orientação dos itens a seguir:

- 5% de pó de pedra com 6% de cimento;
- 5% de pó de pedra com 8% de cimento;
- 5% de pó de pedra com 10% de cimento;
- 10% de pó de pedra com 6% de cimento;
- 10% de pó de pedra com 8% de cimento;
- 10% de pó de pedra com 10% de cimento;
- 15% de pó de pedra com 6% de cimento;
- 15% de pó de pedra com 8% de cimento;
- 15% de pó de pedra com 10% de cimento.

Todos os corpos de prova foram rompidos em prensa hidráulica conforme Figura 1.



Figura 1 – Rompimentos em prensa hidráulica.

Durante o ensaio de compressão simples foram analisadas visualmente as superfícies de ruptura. Dois modos de ruptura foram observados: colapso por cisalhamento paralelo ao plano, a 45° com o eixo vertical, ocorrendo formação de cone nas extremidades dos corpos de prova, e colapso por tração perpendicular ao eixo de aplicação da carga (Figura 2). Em nenhum caso ocorreu a formação de linha de ruptura entre as camadas de compactação.



Figura 2 - Superfície de ruptura.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para a realização do ensaio, seguiram-se os procedimentos recomendados pela NBR 7181/1988 (Solo: Análise Granulométrica). A granulometria foi executada já com a substituição do pó de pedra e cimento para cada teor. O procedimento de execução do ensaio foi o mesmo para todas as amostras ensaiadas. Figura 3 é apresentado a distribuição granulométrica das misturas.

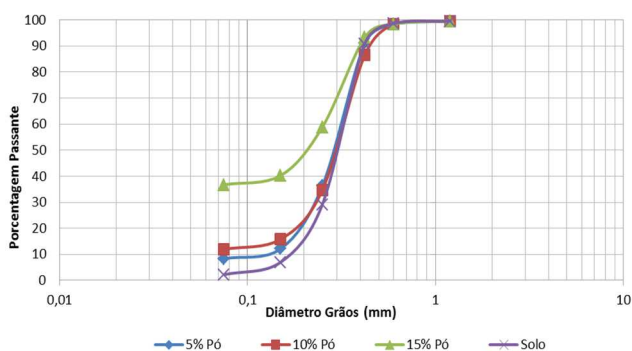


Figura 3 – Distribuição granulométrica das amostras.

Verifica-se que o solo em estudo é uma areia média (solo arenoso), onde a distribuição granulométrica apresenta predominância de partículas com dimensões entre 0,2 mm a 0,6 mm. A incorporação do pó de pedra resultou no aumento de material fino.

O ensaio de compactação tem por objetivo relacionar o teor de umidade e a massa específica aparente seca do solo compactado. Para realização deste ensaio, seguiu-se os procedimentos estabelecidos pela NBR 12023 (Solo Cimento – Ensaio de Compactação, 1992) Foi realizado o ensaio de compactação para os nove teores de solo-cimento determinados para

os experimentos.

Através da análise dos resultados obtidos no ensaio, verificou-se uma pequena variação do teor ótimo de umidade para cada traço que foi de 8,7% a 9,5%. Conforme ocorria o aumento do percentual de cimento, verificou-se uma pequena redução do teor de umidade ótima para a maioria dos traços.

Verificou-se, também, que conforme aumentava-se o teor de pó de pedra e cimento, ocorria um crescente aumento da massa específica aparente seca máxima, como pode ser melhor verificado na Figura 4. Fato este devido ao melhor entrosamento entre as partículas menores (pó de pedra) com as maiores (areia).

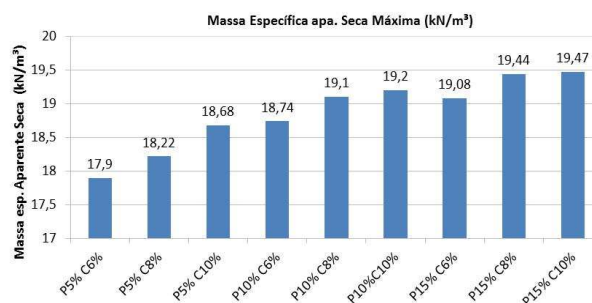


Figura 4 - Resultado para Massa específica aparente máxima para cada traço.

As amostras foram compactadas na umidade ótima e acomodadas em caixa térmica e devidamente fechadas em saco plástico. Os corpos de prova permaneceram na caixa térmica durante todo tempo de cura, como pode ser observado na Figura 5.



Figura 5 – Cura dos Corpos de Prova.

Passado o tempo de cura para cada corpo de prova, estes foram retirados da caixa térmica, tiveram os sacos plásticos removidos, tiveram

seus pesos e dimensões determinados e foram colocados em imersão em água pelo período de 4 horas.

Para o ensaio de compressão simples foram testados 9 corpos de prova para cada teor em estudo dos quais 3 foram rompidos na idade de 7 dias, 3 na idade de 14 dias e 3 na idade de 28 dias, obtendo-se, para os 9 traços, um total de 81 corpos de prova. Nas Figuras 6, 7 e 8 apresenta-se a evolução das resistências nos tempos de cura relacionados.

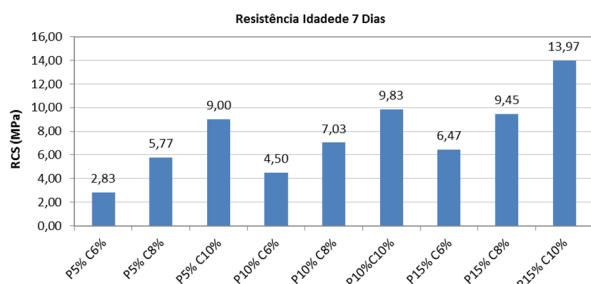


Figura 6 – Resistência a compressão aos 7 dias.

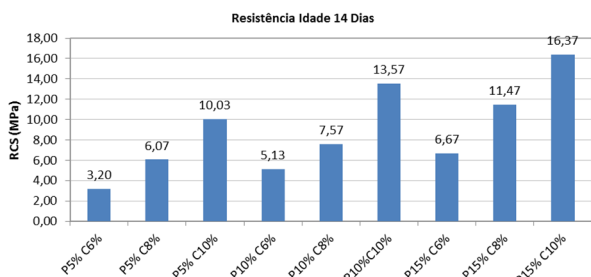


Figura 7 – Resistência a compressão aos 14 dias.

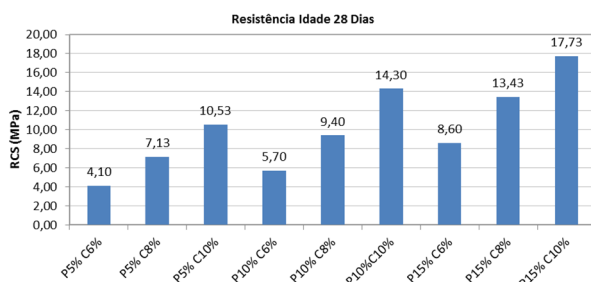


Figura 8 – Resistência a compressão aos 18 dias.

Obteve aumento de resistência em todas as idades, tanto com o aumento no teor de cimento quanto com o aumento no teor de pó de pedra. Isto comprova que o uso do pó de pedra contribui com as melhoras da propriedade de resistência a compressão simples de solo-cimento.

Na Figura 9 faz-se uma análise da evolução de cada traço, durante o período de cura de 28 dias.

Nesta análise verifica-se o aumento da resistência da mistura no decorrer das diferentes idades de cura. A evolução tem forma bastante variada entre cada traço sendo que o menor deles, que foi o traço P5% C10%, teve uma evolução de 17,0% e o maior, que foi o traço P10% C10%, atingiu uma evolução de 45,5% no ganho de resistência.

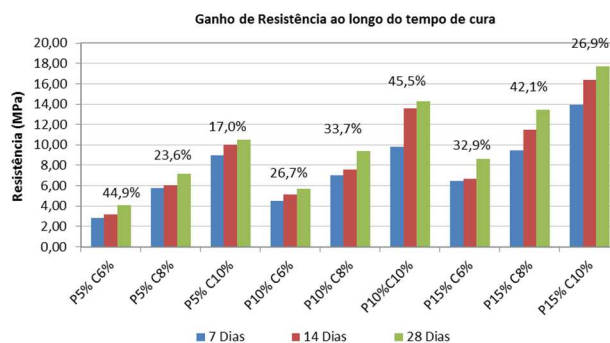


Figura 9 – Resistência a compressão, comparativo.

Como esperado, o ganho de resistência, para todas idades, foi proporcional tanto com o aumento no teor de cimento quanto com o aumento no teor de pó de pedra. Isto comprova que o uso do pó de pedra contribui com as melhoras da propriedade de resistência a compressão simples de solo-cimento.

Os estudos realizados com estas misturas foram fundamentais para a comprovação de que o pó de pedra melhora as características mecânicas do solo-cimento, no que diz respeito à compressão simples, podendo, seu uso, reduzir a quantia necessária de cimento ao solo, para resultar certa resistência, e proporcionar, também, ganhos financeiros, sendo que o cimento é o material que representa maiores gastos nas misturas de solo-cimento, e que o pó de pedra é visto como um material sem custo por se tratar de entulho nas pedreiras e marmorarias.

5 CONCLUSÃO

Ao término deste trabalho pode-se verificar que a incorporação do pó de pedra nas misturas de solo-cimento proporcionou um aumento significativo na resistência a compressão simples, chegando a aumentar mais de 7 MPa na resistência para uma variação de incorporação de 5% para 15% de pó de pedra, no fim do

período de 28 dias.

Analisando-se as resistências obtidas para os diversos traços em estudos verificou-se que a variação de 5% no teor de pó de pedra, contribuiu com o aumento de aproximadamente 60% na resistência do solo-cimento, chegando a contribuir com um aumento de aproximadamente 130% na resistência para uma variação de 10% no teor de pó de pedra.

A NBR 12253:2012 recomenda como sendo 5% a quantidade mínima de cimento que pode ser incorporada ao solo, podendo ser menor esta quantia desde que se obtenha resistência mínima de 2,1 MPa ao sétimo dia. Portanto, se analisarmos os traços onde a quantia mínima de cimento foi de 6% notamos que é possível reduzir a quantia de cimento para menos do que 5% e ainda, com a correta incorporação de pó de pedra, conseguirmos obter esta resistência.

O mesmo acontece para a necessidade de obtenção de resistência mais elevadas, estas podem ser alcançadas através da redução da quantia de cimento, desde que, aumente-se a quantia de pó de pedra.

REFERÊNCIAS

- Associação brasileira de normas técnicas. *NBR 12253 – Solo-cimento – Dosagem para emprego como camada de pavimento*, 2012.
- _____. *NBR 12023 – Solo-cimento – Ensaio de Compactação*, 1992.
- _____. *NBR 12024 – Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos*, 1992
- _____. *NBR 10.004:2004 – Resíduo Sólido - Classificação*, 2004.
- _____. *NBR 7181 – Solo – Análise Granulométrica*, 1988.
- Batalione, G. (2007). *Estabilização de solos tropicais com a utilização de rejeitos finos de pedreira de uma rocha granítica*. 172 p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília.
- Consoli, N. C. (2011). Variables governing strength of compacted soil–fly ash–lime mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*. ASCE Vol. 23, p. 432-440.
- Dallacort, R., et al. (2002). *Resistência à compressão do solo-cimento com substituição parcial do cimento Portland por resíduo cerâmico moído*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.6, n.3, p.511-518.
- Ingles, O.G. e Metcalf, J.B. *Soil Stabilization – Principles and Practice*. Sidney: Butterworths, 374p. 1972.
- Mitchell, J. K. e Herzog, A. (1963) *Reactions Accompanying Stabilization of Clay with Cement*. *Transportation Research Board*, Washington, DC, Vol. 36, p. 146-171.
- Zampieri, L.Q. Consoli, N.C. Festugato, L. Saldanha, R.B. Tronca, I. (2014) *Caracterização de Resistência Mecânica e Metodologia de Dosagem para Mistura de Resíduos de Triturador de Sucata, Cinza Volante e Cal*. Cobramseg 2014.