

Utilização de finos de pedra em misturas de solo-cimento: correção granulométrica de um solo argiloso

Edílson Pissato

Doutorando e mestre em Engenharia Mineral – Poli-USP;
Geólogo – Secretaria Municipal
de Meio Ambiente de Guarulhos.
edilson.pissato@poli.usp.br, Guarulhos – SP [Brasil]

Lindolfo Soares

Doutor em Engenharia Civil – EESC-USP;
Professor na graduação e pós-graduação
[Engenharia de Minas e de Petróleo] – Poli-USP.
lindolfo@usp.br, São Paulo – SP [Brasil]

Este trabalho apresenta um estudo sobre a utilização alternativa do material designado genericamente finos de pedra que, adicionado, em diferentes quantidades, a misturas de solo argiloso com cimento, possibilita fazer a correção granulométrica, além de melhorar as propriedades tecnológicas do novo componente obtido. Corpos-de-prova foram moldados, por meio de diversas combinações preparadas, sendo depois submetidos aos ensaios de resistência e à compressão uniaxial. Findo esse processo, passou-se a verificar se os resultados alcançados estavam de acordo com os padrões brasileiros para solo-cimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Alguns corpos-de-prova também passaram por outras verificações quanto à resistência ao cisalhamento direto e seus valores confrontados com os presentes na literatura.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável.
Finos de pedra. Reciclagem. Solo-cimento.



1 Introdução

Diversos autores vêm desenvolvendo estudos com o intuito de encontrar tecnologias que facilitem o aproveitamento dos finos de pedreira. Com esses trabalhos esperam tanto reduzir os impactos ambientais ligados à sua destinação quanto promover um emprego economicamente rentável desse material.

Segundo o Sindipedras (2001, apud NEVES, 2001), a produção total de finos de pedreira na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) alcança 2 milhões de metros cúbicos por ano (m^3 /ano). Estes materiais podem causar danos graves ao meio ambiente, caso não sejam corretamente dispostos, entre eles a emissão de poeira (poluição atmosférica), a turbidez e assoreamento de corpos d'água, o impacto visual, além de se poder destinar as áreas hoje utilizadas como bota-fora para finalidades mais nobres.

Por outro lado, o solo-cimento é composto de material de baixo custo e amplamente empregado em obras civis, requerendo, contudo, que se utilize solos com granulometria arenosa e próximos às obras, motivos pelos quais esse recurso não é tão usado em regiões em que se dispõe de solos essencialmente argilosos, como é o caso da RMSP.

Neste trabalho, são apresentados os resultados de uma pesquisa sobre a utilização de misturas de finos de pedreira e de granulometria arenosa, com um solo argiloso, obtendo assim, um terceiro tipo de solo, com características próprias, para aproveitamento na forma de solo-cimento.

Para a pesquisa foram coletadas amostras de finos de pedreira e de solo superficial de capeamento da Pedreira Reago S. A. (Camargo Corrêa), localizada no município de Guarulhos (SP).

2 Finos de pedreira

A classificação dos produtos de pedra britada varia bastante, de acordo com a região ou mesmo entre minerações situadas numa mesma área, pois cada uma detém uma planta de produção própria cuja granulometria depende do produto final pretendido. Assim, a designação “finos de pedreira” também é muito variável. Neste trabalho, adotamos a definição de Fujimura e colaboradores (1996), que consideram finos de pedreira o material de granulometria inferior a 4,8 milímetros (mm), derivado dos processos de perfuração, detonação e britagem de rochas. Nesse contexto, finos de pedreira englobaria o material com granulometria inferior a 0,075 mm, definido como “pó de pedra” pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1993), conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Definição dos agregados para construção civil

Descrição dos materiais	Abertura das malhas (mm)	
	Mínima	Máxima
Pó de pedra	-	0,075
Agregado miúdo	0,075	4,8
Areia	0,075	2
Pedregulho fino	2	4,8
Pedrisco	0,075	4,8

Fonte: ABNT (1993).

Nos últimos anos, foram estudadas diversas alternativas para viabilizar, técnica e economicamente, o emprego dos finos de pedreira, principalmente, como substitutos de areias naturais em várias aplicações na construção civil, como, por exemplo, concreto compactado a rolo (MENDES, 1999), argamassas (D'AGONTINO; SOARES, 2003) e concreto pré-misturado (NEVES, 2001).

3 Solo-cimento

O solo-cimento tradicional composto de uma mistura compactada de solo, cimento e água que, após a cura e o endurecimento, adquire resistência mecânica, flexibilidade, elasticidade e resistência à erosão, e pode ser aplicado sob diversas formas, tais como:

Pavimentação: em leitos, subleitos ou mesmo camadas de rolamento;

Habitação: fabricação de tijolos, execução de paredes monolíticas, pisos, contrapisos e fundações;

Obras de contenção: muros de arrimo para contenção de taludes de corte ou aterro, regularização e estabilização de margens de córrego e estruturas de contenção de erosão. Nesse caso, é utilizada a técnica do solo-cimento ensacado, que consiste no empilhamento e na compactação de sacos de polietileno preenchidos com a mistura de solo-cimento.

As principais vantagens da utilização do solo-cimento em relação aos materiais convencionais são a facilidade de execução, não requerendo mão-de-obra qualificada, além do baixo custo dos materiais, que reduz em até 40% o custo final da obra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 1974).

4 Materiais utilizados

Conforme enumerações a seguir.

4.1 Solo

A amostra de solo utilizada para os ensaios foi coletada do material de capeamento da Pedreira Reago, representado por um solo argiloso, correspondente ao horizonte B superficial late-

rítico, vermelho (latossolo vermelho amarelo), constituído, essencialmente, por quartzo, argilo-minerais do grupo da caolinita e óxidos hidratados de alumínio e ferro (gibbsita e goethita). As características físicas desse material encontram-se expressas na Tabela 2, enquanto sua distribuição granulométrica está indicada na Tabela 3 e no Gráfico 1.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de caracterização do solo superficial

Massa específica média a 20°C*	2,658
Teor de umidade (%)	1,708
Limite de liquidez (%)	38,9
Limite de plasticidade (%)	24,7

Obs.: Medida em gramas por centímetro cúbico (g/cm³).

Fonte: Os autores.

Tabela 3: Análise granulométrica obtida no processo de peneiramento

Abertura da peneira (mm)	Porcentagem passante
4,8	100
2,0	99,84
1,20	99,56
0,60	98,10
0,42	93,95
0,30	85,54
0,15	62,66
0,075	51,82

Fonte: Os autores.

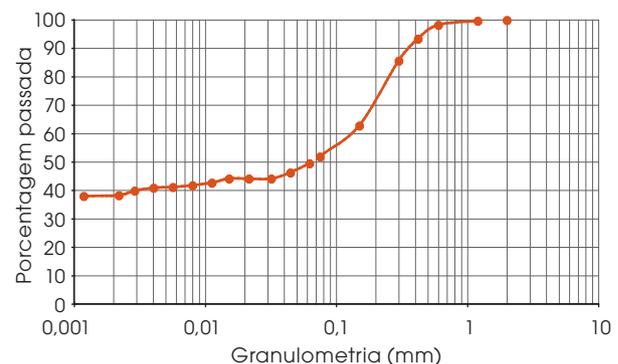


Gráfico 1: Distribuição granulométrica do solo superficial

Fonte: Os autores.



4.2 Finos de pedraira

Os finos de pedraira utilizados foram coletados na pilha de finos na Pedreira Reago. Constituem material granulometricamente inferior a 4,8 mm e são resultantes da britagem de uma rocha gnáissica, cuja mineralogia é composta, principalmente, de quartzo, microclínio e micas. A distribuição granulométrica do material de pedra está representada na Tabela 4 e no Gráfico 2.

Tabela 4: Composição granulométrica dos finos de pedraira

Fração	(%)
Argila	0
Silte	0
Areia fina	37
Areia grossa	37
Pedregulho fino	24
Pedregulho grosso	2

Fonte: Os autores.

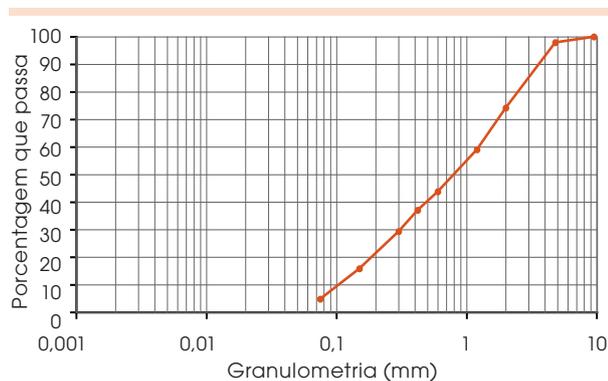


Gráfico 2: Distribuição granulométrica dos finos de pedraira

Fonte: Os autores.

5 Programa experimental

Conforme enumerações a seguir.

5.1 Composição das misturas

Os solos mais apropriados para serem utilizados nas misturas de solo-cimento são aqueles

de constituição, predominantemente, arenosa (PINTO, 1980; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 1986; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Por esse motivo, os finos de pedraira foram adicionados ao solo superficial com o intuito de corrigir, granulometricamente, a mistura e melhorar as características do solo argiloso e, assim, preparar o solo-cimento de forma, economicamente, viável, ou seja, utilizando a menor quantidade de cimento para estabilização, de acordo com a proposta da Associação Brasileira de Cimento Portland (1986).

Foram utilizadas, para realização dos ensaios, misturas contendo 50%, 60% e 70% de finos de pedraira, designadas, respectivamente, A, B e C.

5.2 Ensaios

Os procedimentos para a execução dos ensaios seguiram a norma brasileira para dosagem de solo-cimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) e podem ser assim resumidos:

- Realização dos ensaios de caracterização das amostras;
- Ensaios de compactação do solo-cimento, utilizando o teor de cimento em massa indicado na norma, de acordo com a classificação do solo;
- Moldagem dos corpos-de-prova de solo-cimento com o teor de cimento indicado nos ábacos da norma;
- Determinação da resistência à compressão simples aos sete dias de cura em câmara úmida.

Conforme os critérios estabelecidos na norma, deve-se adotar um teor mínimo de cimento capaz de promover a estabilização do solo por

meio da busca do menor dos teores que forneça resistência média igual ou superior a 2,1 megapascal (MPa).

As amostras A, B e C apresentaram classificação A4 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1999), indicando dosagem de 8 a 10% de cimento em massa. Foram ainda testados corpos-de-prova com 12% de cimento. Como os ensaios resultaram em resistência à compressão simples acima do esperado, foi preparado um segundo lote para a realização de novos ensaios, utilizando 5% de cimento. Os resultados obtidos estão demonstrados no Gráfico 3.

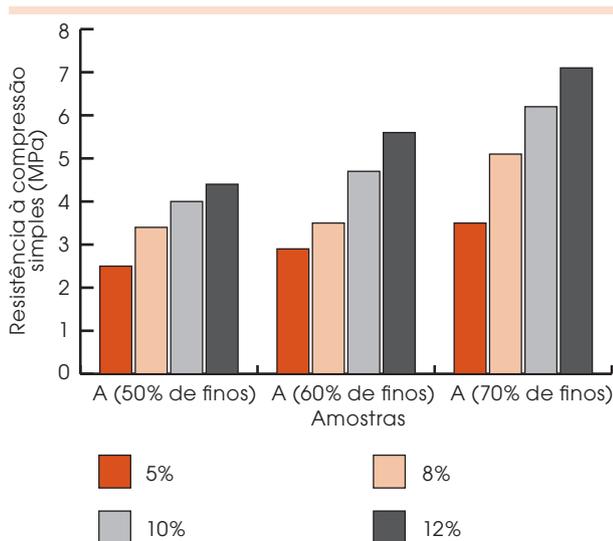


Gráfico 3: Resistência à compressão simples em relação à proporção de finos de pedra e ao teor de cimento em massa (%)

Fonte: Os autores.

6 Ensaios de cisalhamento direto

Os ensaios de cisalhamento direto realizaram-se em corpos-de-prova cilíndricos preparados com a mistura de 70% de finos de pedra. Os resultados foram comparados com ensaios realizados por outros autores, apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Comparação dos valores obtidos, experimentalmente, com os dados da literatura

Fonte	Tipo de solo ASTM (1999)*	Teor de cimento (%)	Coesão (MPa)	Ângulo de atrito ϕ (graus)	Resistência ao cisalhamento τ (MPa)**
Balmer (1958)	A-1-b (0)	6	0,86	42	1,61
	A-2-4 (0)	6	0,58	45	1,46
	A-4 (8)	8	0,67	37	1,15
	A-4 (8)	6	0,62	36	1,1
Valores obtidos experimentalmente	A-4 (0)	5	0,88	37	1,16

Obs.: (*) American Society for Testing and Materials (ASTM); (**) Para Tensão normal de 0,8 MPa.

Fonte: Os autores.

7 Considerações finais

Os resultados obtidos indicam que as três amostras ensaiadas apresentaram resistência à compressão simples superior ao valor mínimo de 2,1 MPa admitido pela ABNT (1992) para solo-cimento, ou seja, foram estabilizadas com o teor de 5% de cimento em massa, o que viabiliza, técnica e economicamente, a utilização dessas proporções nas misturas em foco.

A quantidade acrescentada de finos de pedra levou a um aumento proporcional na resistência da mistura de solo-cimento final, apontando que, quanto maior for a quantidade de finos, menor o teor de cimento necessário para estabilização, respeitando o limite de 3,5% estabelecido pela norma.

Os ensaios de cisalhamento direto mostraram que as características geomecânicas do material, preparado, conforme apresentado na Tabela 5, são semelhantes às dos solos naturais com distribuição granulométrica semelhante.

O comportamento do material frente aos ensaios realizados mostra que a utilização dos finos de pedra na adição ao solo-cimento é uma alternativa bastante viável e pode permitir seu uso



em locais onde a predominância de solos argilosos tornaria economicamente inviável o seu emprego, principalmente, em razão do custo do transporte.

Considerando os baixos custos envolvidos, a baixa exigência tecnológica e a facilidade executiva do solo-cimento em suas várias formas de utilização, a correção com adição de finos de pedra torna-se bastante atraente, principalmente em regiões em que esse material é abundante, como no caso da RMSP.

Finalmente, merece ser considerado também que, no aproveitamento dos finos de pedra no preparo de solo-cimento, toda a fração abaixo de 4,8 mm pode ser utilizada, inclusive a que está abaixo de 0,075 mm (pó de pedra), resultando, portanto, na eliminação, por reaproveitamento, de qualquer resíduo das atividades da cominuição das rochas e tampouco a necessidade de proceder a seu tratamento.

Utilization of stone-quarry fines in soil-cement mixes: granulometric correction of a clayish soil

This work presents a study on the alternative utilization of materials generically called stone-quarry fines, which added, in different quantities, to clayish soil mixes and cement, allow granulometric correction and the improvement of technologic properties of the new component. Specimens were molded, by means of several prepared combinations, later been submitted to resistance tests and uniaxial compression. At the end of the process, new tests were carried out to verify whether the results matched to the Brazilian standards for cement-soil (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) or not. Some specimens also passed through other trials, as for the resistance to the direct shearing, and its values compared to that found in literature.

Key words: Cement-soil. Recycling. Stone-quarry fines. Sustainable development.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard practice for classification of soil and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes*. D 3282. 1. ed. Filadélfia: Book of ASTM standards, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Aplicações de solo-cimento: experiência brasileira*. 1. ed. ET. 59. São Paulo: ABCP, 1974.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12253. Solo-cimento: dosagem para emprego como camada de pavimento*. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

_____. *NBR 7225. Materiais de pedra e agregados naturais*. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

BALMER, G. G. Shear strength and elastic properties of soil-cement mixtures under triaxial loading. *Portland Cement Association Bulletin*, Skokie, D32, 1958.

D'AGONTINO, L. Z.; SOARES, L. O uso de finos de pedra de rocha granítico-gnáissica em substituição às areias naturais na elaboração de argamassa. *Revista Geociências*, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 65-74, 2003. Disponível em: <http://jasper.rc.unesp.br/revistageociencias/22_1/6.PDF>. Acesso em: 16 fev. 2006.

FUJIMURA, F. et al. Environmental issues and profitable uses of stone quarry fines. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL ISSUES AND WASTE MANAGEMENT IN ENERGY AND MINERAL PRODUCTION, 4., 1996, Cagliari. *Proceedings...* Cagliari: Swemp, 1996.

MENDES, K. da S. *Viabilidade do emprego de finos de basalto em concreto compactado a rolo*. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Aplicada a Mineração)–Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

NEVES, L. *Aplicação dos finos gerados pela produção de pedras britadas graníticas no concreto pré-misturado em substituição às areias naturais*. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Departamento de Engenharia de Minas, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PINTO, C. S. *Evolução das pesquisas de laboratório sobre solo-cimento*. 4. ed. São Paulo: ABCP, 1980.

Recebido em: 16 fev. 2006 / aprovado em: 5 maio 2006

Para referenciar este texto

PISSATO, E.; SOARES, L. Utilização de finos de pedra em misturas de solo-cimento: correção granulométrica de um solo argiloso. *Exacta*, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 143-148, jan./jun. 2006.