

O USO DE FINOS DE PEDREIRA DE ROCHA GRANÍTICO-GNÁISSICA EM SUBSTITUIÇÃO ÀS AREIAS NATURAIS NA ELABORAÇÃO DE ARGAMASSA

Liz Zanchetta D'AGOSTINO ¹ & Lindolfo SOARES ²

- (1) Curso de Mestrado em Engenharia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - Cidade Universitária. CEP 05.508-900. São Paulo, SP. Endereço eletrônico: lizdag@terra.com.br.
(2) Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da USP. Av. Prof. Mello Moraes, 2373 - Cidade Universitária. CEP 05.508-900. São Paulo, SP. Endereço eletrônico: lindolfo@usp.br.

Introdução
Metodologia e Materiais Ensaaiados
Resultados Obtidos
 Areia Aluvionar e Finos de Pedreira
 Argamassas
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO - Este estudo apresenta e discute as características tecnológicas de dois tipos de material arenoso e avalia o comportamento de argamassas preparadas com estas areias frente a ensaios de resistência à compressão simples. As areias, de origens distintas, são: a natural, de leito de rio (areia aluvionar) e a resultante da britagem de rocha granítica-gnáissica, material normalmente designado como finos de pedreira. A caracterização tecnológica de areias de diferentes origens é fundamental, pois as diferentes procedências e/ou processos de obtenção determinam as características do material como granulometria, mineralogia, forma e textura superficial dos grãos, e estas, por sua vez, são responsáveis pelos diferentes comportamentos das argamassas empregadas na construção civil. A argamassa preparada com finos de pedreira, após 90 dias, mostrou o maior valor de resistência à compressão, representando mais que o dobro do resultado obtido com a argamassa preparada com areia aluvionar. Assim, a partir da caracterização tecnológica dos materiais elaborados com os finos de pedreira, espera-se que estes se tornem alvo de mercado no preparo de argamassas de qualidade, como as utilizadas atualmente na construção civil.

Palavras-chave: Finos de pedreira; areia aluvionar; granulometria, forma e textura de grãos; argamassa; areia de brita.

ABSTRACT - *L.Z. D'Agostino & L. Soares - Use of granitic rock quarry fines replacing natural sands in mortar preparation* - This study presents and discusses the technological characteristics of two types of sandy material and checks their behavior during uniaxial compressive strength testing of mortars prepared using these sands. These sands, are from different origins: one of river beds (alluvial sands), and the other produced by granitic-gneiss rock crushing (quarry fines). The study of sands from discrete sources is a fundamental factor since different sources/processes from which the sands are obtained define their inherent characteristics, such as grain size distribution, mineral composition, grain shape and texture, which account for the different performances of mortars used in civil works. After 90 days, the mortar prepared using quarry fines showed the biggest compressive strength value, representing more than two times the result obtained for the mortar prepared with alluvial sand. Therefore, it is expected that quarry fines may become a market target in replacing the alluvial sands, which is currently and extensively used in civil works.

Keywords: Quarry fines; alluvial sand; grain size distribution, shape and texture; mortar; crushing sand.

INTRODUÇÃO

A produção brasileira de agregados naturais em 1999 foi de 215 milhões de metros cúbicos, dos quais 127,2 milhões são representados por areias. Particularmente, o Estado de São Paulo é responsável por cerca de 32,3% da produção brasileira de agregados naturais para a construção civil ou, aproximadamente, 41,1 milhões de metros cúbicos por ano de areia (Whitaker, 2001). Deste volume, 85% é destinado ao abastecimento da cidade de São Paulo e provém de regiões distantes, dentre as quais encontram-se áreas fornecedoras situadas no Vale do Rio Paraíba do Sul e no Vale do Rio Ribeira de Iguape, ambas a cerca de 150 km do local de demanda (Soares et al., 1997).

As regiões produtoras de areias naturais situam-se a distâncias cada vez maiores dos centros consumidores devido ao esgotamento gradual de jazidas

próximas a estes centros, bem como aos conflitos originados pela ocupação territorial e ainda a ação fiscalizadora das entidades ligadas à preservação ambiental (Soares et al., 1997). Tais fatores têm provocado a intensificação da busca e extração deste material em áreas cada vez mais distantes dos locais de demanda. Isto ocasiona um encarecimento drástico da areia devido à incidência do elevado custo de transporte (Fujimura et al., 1995), que equivale a aproximadamente 65% sobre o valor final do produto (Whitaker, 2001).

Esses fatos vêm estimulando a busca de materiais alternativos tecnicamente adequados às finalidades construtivas, de menor custo, e que estejam o mais próximo possível das áreas de consumo (Fujimura et al., 1995; Zanchetta, 2000).

Um desses materiais alternativos é o resíduo, representado por material fino denominado de finos de pedra, resultante do processo de produção de brita em pedreiras instaladas sobre rochas, que, nos arredores da cidade de São Paulo, são predominantemente de constituição granítico-gnáissica e também migmatítica. No Estado de São Paulo, no ano de 1997, encontravam-se instaladas 47 pedreiras sobre rochas granítico-gnáissicas, representando 59% das pedreiras em operação. A Tabela 1 apresenta o número de pedreiras implantadas sobre diferentes unidades litológicas no Estado de São Paulo.



FOTO 1. Pilha de estoque dos finos de pedra. Embu Engenharia e Comércio S.A.

TABELA 1. Relação entre número de pedreiras no Estado de São Paulo e litotipo associado (SINDIPEDRAS, 1997).

Rocha	Nº de pedreiras	%
granito/gnaíse/migmatito	47	59
basalto	26	33
diabásio	3	4
calcário	3	4

Fonte: Sindipedras (1997).

Essas pedreiras geram quantidades significativas de finos no processo de cominuição das rochas, principalmente quando do processo de britagem. Estima-se entre 10 e 15% do volume produzido de brita, o total de finos gerados no processo de britagem, o que resulta em alguns milhões de toneladas acumuladas anualmente (Fujimura et al., 1995). Os finos de pedra, por terem nenhuma ou, às vezes, pequena utilização tecnicamente adequada, são acumulados em superfície, em áreas restritas ao redor das centrais de britagem (Foto 1).

Os finos de pedra reportam-se ao *undersize* (granulometricamente situados abaixo da fração 4,8 mm) da produção de brita, gerados através dos processos de perfuração, detonação e principalmente de britagem e classificação de qualquer tipo de rocha

submetida a este tipo de beneficiamento (Soares & Mendes, 1999). Em algumas pedreiras ainda são considerados rejeitos, mas grandes quantidades já são utilizadas no preparo de concreto compactado a rolo (CCR) para emprego no segmento da pavimentação e na construção de barragens, setores estes que cada vez mais utilizam este material (Soares & Mendes, 1999). São ainda empregados na preparação de solo-cimento ensacado (Soares & Pissato, 2001) e de argamassas (Zanchetta, 2000).

Este estudo teve como objetivo principal determinar as principais características tecnológicas e estabelecer comparações entre os dois tipos de material arenoso selecionados: areias aluvionares, por ser o agregado miúdo mais empregado na preparação de argamassas, e finos resultantes da britagem de rochas granítico-gnáissicas por serem as rochas predominantes nos arredores da Região Metropolitana de São Paulo. Esses diferentes tipos de areia foram utilizados na elaboração de argamassas, que tiveram seu comportamento de resistência mecânica determinado a partir de ensaios laboratoriais.

METODOLOGIA E MATERIAIS ESTUDADOS

A utilização dos finos de pedra, provenientes da britagem de rochas granítico-gnáissicas, foi avaliada por comparação entre o desempenho de argamassas elaboradas com esses finos e com areia aluvionar, proveniente de leitos de rios, e argamassas com trabalhabilidade constante igual a 250 ± 10 mm.

A areia normal brasileira (areia-padrão), por sua vez, foi considerada alvo comparativo para os finos de pedra e a areia aluvionar. Assim, foram utilizados

os resultados de ensaios de caracterização tecnológica realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), sobre argamassas elaboradas com esta areia-padrão. Segundo a Norma da ABNT (1982a) a areia-padrão é definida como material natural quartzoso extraído do Rio Tietê (SP), produzido e fornecido pelo IPT.

Os dois tipos de areias estudados e com os quais foram elaboradas argamassas, são diferenciados com

base na origem de cada um: 1. areia aluvionar, proveniente de dragagem em leito de rio; 2. areia resultante do processo de britagem de rochas granítico-gnáissicas.

As areias estudadas foram amostradas em áreas extrativas situadas no Estado de São Paulo. Os locais onde se realizaram as coletas de amostras estão apresentados na Figura 1.

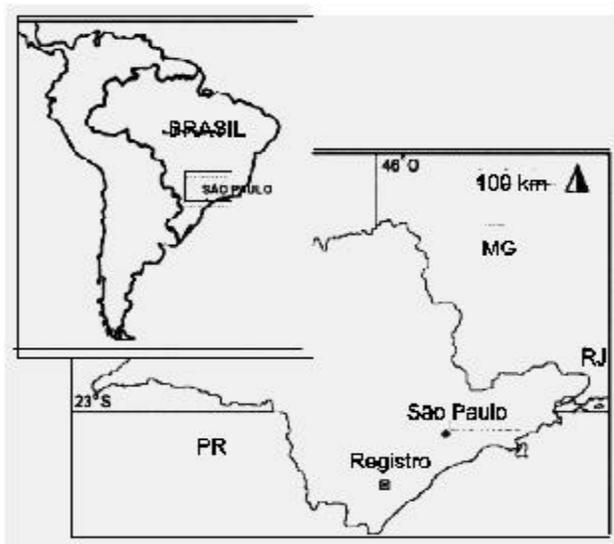


FIGURA 1. Locais de coleta das amostras.

A areia aluvionar foi amostrada próximo à cidade de Registro, na calha do Rio Ribeira de Iguape. No local ocorrem sedimentos aluvionares compostos por areias de granulação variável, argilas e cascalheiras em depósitos de calha e/ou terraços de idade quaternária holocênica (IPT, 1981).

A amostragem foi realizada na Mineração Pirâmide Grão de Areia-Peixoto localizada na margem esquerda do Rio Ribeira de Iguape, a jusante da ponte da cidade de Registro, Rodovia Régis Bittencourt, km 44. O processo de extração é simples: a areia do fundo do rio é retirada por dragas flutuantes, descarregada em sua margem próximo à área de tratamento, de onde é, então, por bombeamento, encaminhada para o peneiramento e estocagem. No peneiramento, o pedrisco e a matéria orgânica mais grossa são separados do material mais fino (areia). A pilha de areia resultante do peneiramento foi o local onde se processou a coleta do material. A amostragem foi realizada segundo ABNT (1987a) tomando-se o devido cuidado de se obter amostras representativas da pilha de estoque do material.

A amostra de finos de pedra foi coletada no município de Embu, próximo da cidade de São Paulo,

em pedra de rochas incluídas nos terrenos da Fácies Cantareira, das suítes graníticas sintectônicas do Neoproterozóico. O tipo granítico-gnáissico é o mais comum, com granulação fina a média e composição granítica a granodiorítica (IPT, 1981).

A coleta foi feita na área da Mineração Embu Engenharia e Comércio S.A., na estrada do DAE, km 30. O “granito” que aflora no local é desmontado com o emprego de explosivos para a produção de brita. No processo de cominuição da rocha, além da brita, são gerados os finos de pedra, normalmente apresentando baixo valor agregado e, por isso, considerados rejeito. Os trabalhos de cominuição, em função do britador e da natureza da rocha, geram de 10 a 15% de finos do total de brita produzido. A amostra para realização dos ensaios foi coletada nas pilhas de estocagem destes finos (Foto 1).

A amostragem, também executada conforme procedimentos ditados pela NBR-7216, recebeu atenção necessária para que fosse a mais representativa possível da pilha de estocagem dos finos. A coleta foi realizada em vários pontos da pilha, espaçados de maneira ordenada, após a remoção de cerca de 15 cm da camada superficial do material estocado.

Após a coleta, as areias passaram em laboratório por um processo de preparação, que envolveu secagem, desagregação e homogeneização para que pudessem, posteriormente, ser ensaiadas. A seqüência dos trabalhos de preparação, análises e ensaios realizados está apresentada no fluxograma da Figura 2.

As amostras foram secas em estufa a 100°C durante 24 horas. Por causa da secagem, as areias aglomeraram-se em “torrões” e, por isso, tiveram que ser desagregadas. Foram destorroadas manualmente para depois serem homogeneizadas por meio de “pilha alongada”. Esta pilha apresenta seção transversal de formato triangular e, teoricamente, em qualquer porção ao longo de seu comprimento a areia deverá estar igualmente distribuída em relação à sua granulometria. Só depois as alíquotas foram separadas para execução dos ensaios. Todo o material separado para os ensaios tecnológicos foi peneirado e considerado apenas o passante na peneira de abertura 4,8 mm (Tyler 4#), seguindo a Norma ABNT (1987b).

A análise da distribuição granulométrica foi realizada em duas etapas distintas. O material acima da fração 0,15 mm (Tyler 100#) foi classificado segundo série de peneiras que abrangeu as seguintes aberturas de malhas, em milímetros: 4,8 - 2,4 - 1,2 - 0,6 - 0,3 - 0,15. O material passante na peneira de 0,15mm e retido no fundo da série adotada, foi analisado por difração de raios laser. Para esta análise utilizou-se a técnica de espalhamento de luz do analisador de partículas Malvern 3600 Ec, equipamento com boa

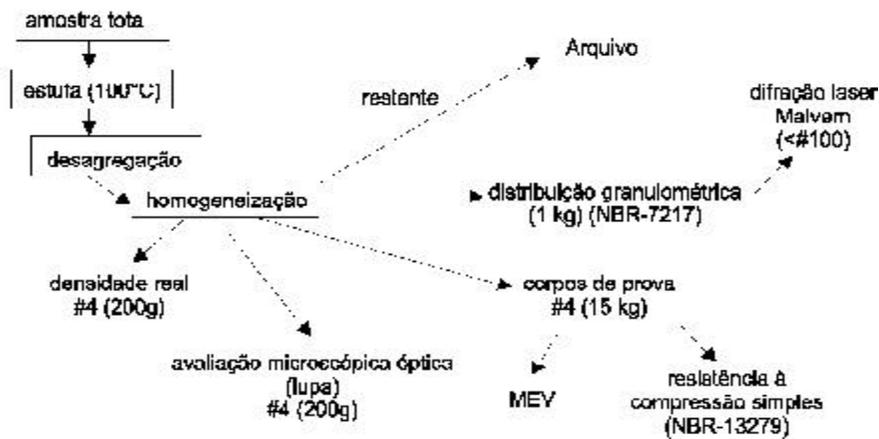


FIGURA 2 Fluxograma da preparação das areias e dos ensaios realizados em laboratório.

precisão para partículas de até 0,0012 mm de diâmetro (Agrawal et al., 1991), constituído por uma unidade óptica de medida e um computador que processa os dados, fornecendo a distribuição de tamanhos de partículas sólidas na faixa de 0,0005 a 0,56 mm em meio líquido (água deionizada).

A avaliação por microscopia óptica foi realizada através de lupa, com aumento variável entre 6 e 66 vezes, acoplada a um microcomputador e uma câmara para captar imagens. Devido ao aumento e nível das informações fornecidas pela lupa, apenas três frações granulométricas foram selecionadas para esta avaliação: 0,6 mm (Tyler 28#), 0,3 mm (Tyler 48#) e 0,15 mm (Tyler 100#). Para cada fração granulométrica de cada tipo de areia, foram analisados no mínimo 100 grãos de areia. Nesta avaliação óptica, o objetivo principal foi a observação da morfologia dos grãos, ou seja, o grau de arredondamento e a esfericidade, assim como a textura superficial, ou seja, quão rugoso ou polido é o grão de areia (Figura 3). Esta avaliação permitiu, além da identificação subjetiva da esfericidade dos grãos das areias, a aplicação de cálculos matemáticos para determinação do arredondamento, através do programa QWIN (LEICA QWIN, 1996).

Foram considerados grãos de alta esfericidade aqueles que mostraram relação entre eixos aproximada de 1:1 e de baixa esfericidade, os que apresentaram relação entre eixos aproximada de 2:1. As relações intermediárias entre estes dois limites também foram identificadas como: média-alta, média e média-baixa esfericidade.

Ainda, segundo o fluxograma apresentado na Figura 2, foram elaborados corpos de prova de argamassa com traço de 1:6 (cimento:areia) em volume. Este traço é normalmente utilizado quando o único aglomerante da argamassa é o cimento (Ioshimoto,

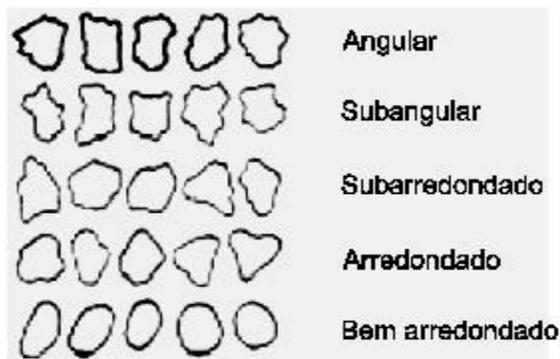


FIGURA 3. Morfologia dos grãos das areias.

1988), e quando a aplicação da argamassa pode ser feita tanto em interiores quanto em exteriores. A correspondência para o traço adotado, em massa, para a areia aluvionar foi de 1:8,16 e para os finos de pedra foi de 1:9. A quantidade de cada areia empregada neste ensaio foi de cerca de 15 kg. De início, foi determinada a massa unitária de cada um dos tipos de areia, segundo Norma ABNT (1982b): Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária (NBR-7251). Deve-se ainda assinalar que as argamassas foram dosadas buscando-se trabalhabilidade de 250 ± 10 mm na mesa de consistência (*flow table*).

O processo de moldagem dos corpos de prova e o ensaio de resistência à compressão simples foram regidos pela Norma ABNT (1995a): Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão simples – Método de Ensaio (NBR-13279). Para cada tipo de argamassa elaborado, ou seja, para cada tipo de areia foram preparados 12 corpos de prova (CP), totalizando 24 corpos cilíndricos (10 cm de altura por

5 cm de diâmetro). Para cada argamassa foram executados ensaios utilizando-se 4 CP para cada intervalo de tempo de cura: 7, 28 e 90 dias. Não foram elaborados CP com areia-padrão pois esta já foi tema de muitos ensaios anteriores e os resultados não sofrem variações significativas, pois se trata de uma areia padronizada.

Depois de moldados, os CP foram levados à câmara úmida onde permaneceram 24 horas, tempo este correspondente ao início da cura. Após este período, foram desformados e levados aos tanques, onde

ficaram submersos durante os períodos de cura predefinidos acima citados.

A análise por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada em lâminas delgadas obtidas dos corpos de prova de argamassa. Na etapa de moldagem dos corpos de provas, para a realização dos ensaios de resistência à compressão simples, foi elaborado um corpo de prova extra para cada tipo de areia. Estes corpos de prova permaneceram em cura, em câmara úmida, por 90 dias e após este período foram utilizados para preparação de lâminas delgadas.

RESULTADOS OBTIDOS

AREIA ALUVIONAR E FINOS DE PEDREIRA

A partir dos dados obtidos na análise granulométrica pelo processo de peneiramento, foi calculado o módulo de finura (MF) de cada areia. Este MF dá idéia numérica do que é chamado agregado “grosso” ou “fino”. Assim, as areias podem ser classificadas como grossas ($MF > 3,0$), médias ($3,0 > MF > 2,0$) e finas ($MF < 2,0$). A fração menor que 0,15 mm (Tyler 100#) foi considerada o fundo da série de peneiras e analisada através do método de difração de raios laser.

A partir dos valores das massas retidas em cada malha da seqüência de peneiras elaborou-se a distribuição granulométrica de cada areia e a respectiva

curva granulométrica. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 2 e 3 e na Figura 4.

A determinação dos módulos de finura indicou que a areia aluvionar está praticamente no limite entre areia média e fina (2,07), enquanto que os finos de pedra podem ser classificados como areia média (2,60).

A avaliação das curvas granulométricas apresentadas na Figura 4 indicou que a areia aluvionar é a que mostra a melhor seleção granulométrica, enquanto que os finos de pedra mostram distribuição granulométrica mais ampla, ou seja, são pouco selecionados, com distribuição de material mais equilibrada em todas as dimensões.

TABELA 2. Distribuição granulométrica da areia aluvionar.

Mesh Tyler	abertura (mm)	Peso ret. (g)	% Peso	% acum. retido	% acum. passante
#4	4,8	0,8	0,1	0,1	99,9
#8	2,4	7,8	1,3	1,4	98,6
#14	1,2	27,4	4,6	6,0	94,0
#28	0,6	141	23,8	29,9	70,1
#48	0,3	254,7	43,0	72,9	27,1
#100	0,15	138,6	23,4	96,3	3,7
#100-(fundo)	0,01	21,6	3,6	100,0	0,0
SOMA		591,9	100,0		MF=2,07

TABELA 3. Distribuição granulométrica dos finos de pedra.

Mesh Tyler	abertura (mm)	Peso ret. (g)	% Peso	% acum. retido	% acum. passante
#4	4,8	9	1,7	1,7	98,3
#8	2,4	87,4	17,0	18,7	81,3
#14	1,2	107,5	20,9	39,6	60,4
#28	0,6	83,9	16,3	55,9	44,1
#48	0,3	55,4	10,8	66,7	33,3
#100	0,15	53,7	10,4	77,1	22,9
#100-(fundo)	0,01	117,6	22,9	100,0	0,0
SOMA		514,5	100,0		MF=2,60

Os resultados da análise por difração de raios laser serviram para a caracterização da distribuição granulométrica do material mais fino (<0,15 mm) e foram úteis para complementação do ensaio executado para análise da distribuição granulométrica das areias. A Figura 5 mostra as curvas granulométricas geradas por esta análise para as duas areias estudadas.

A avaliação destas curvas indica as seguintes características:

1. Areia aluvionar: a curva gerada, acumulada abaixo (%), permitiu a visualização de uma distribuição granulométrica relativamente regular, com crescimento suave à medida que o diâmetro das partículas aumenta. O histograma (% de partículas para intervalos de diâmetro analisado), acompanhando a curva, mostra uma concentração de partículas com diâmetros em torno de 0,1 mm (100 μm). A maior

porcentagem, 9,96%, foi identificada para o intervalo de diâmetros entre 0,12 mm (120,67 μm) e 0,14 mm (140,58 μm), que correspondeu a 66,58% de acumulada abaixo. Nesta amostra, a porcentagem de material maior que 0,15 mm (150 μm) ficou em torno de 20%.

2. Finos de pedreira: a curva gerada, acumulada abaixo (%), permitiu a visualização de uma distribuição granulométrica boa, também com crescimento suave à medida que o diâmetro das partículas aumenta. O histograma (% de partículas para intervalos de diâmetro analisado), acompanhando a curva, mostra uma melhor distribuição de diâmetros das partículas no intervalo analisado, tendo uma pequena concentração de partículas com diâmetros próximos de 0,1 mm (100 μm). O intervalo de diâmetros entre 0,065 mm (65,51 μm)

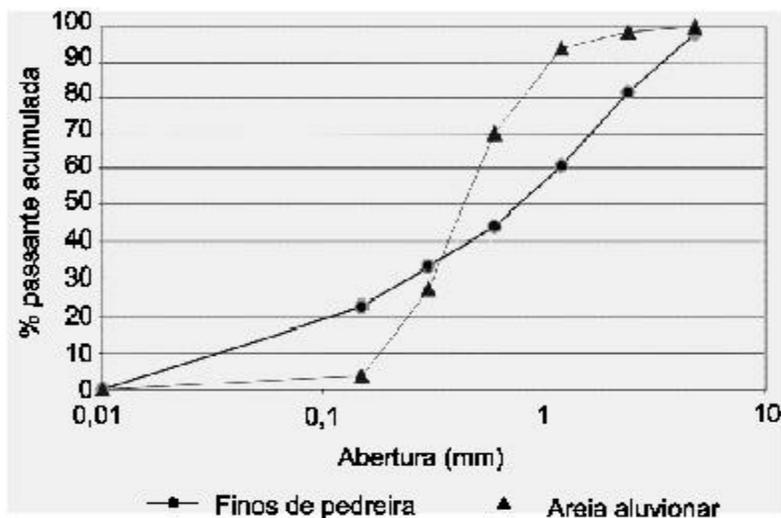
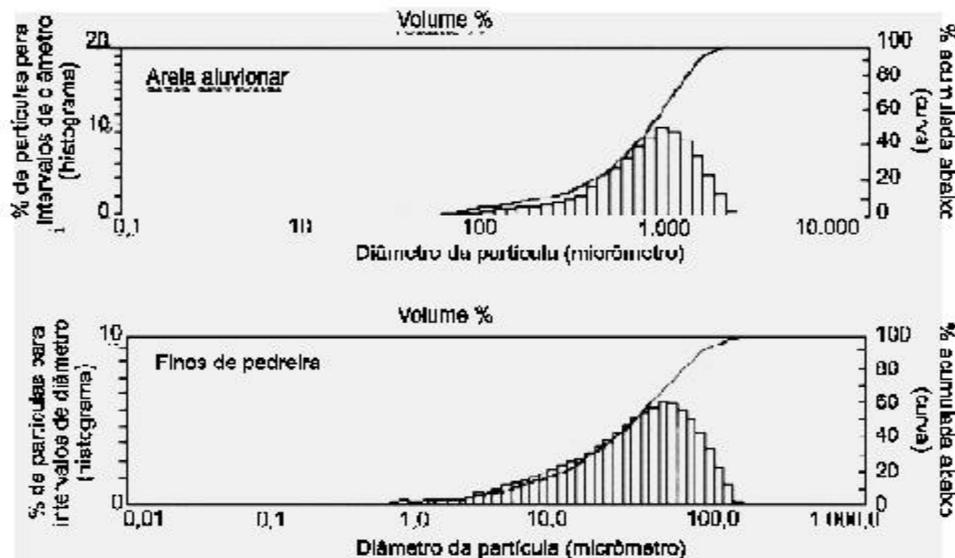


FIGURA 4. Curvas granulométricas dos dois tipos de areia estudados.

FIGURA 5. Resultado da análise de granulometria por difração de raios laser.



e 0,076 mm (76,32 μm) (6,13% das partículas) correspondeu a 71,92% de acumulada abaixo. Constatou-se ainda a existência de cerca de 7% de material maior que 0,15 mm (150 μm), provavelmente devido à irregularidade no tamanho dos eixos dos grãos, ou seja, grãos que possuem um dos eixos maiores que 0,15 mm e os outros dois eixos menores, possibilitando assim, sua passagem pela peneira de 0,15 mm (Tyler 100#), e conseqüente deposição no fundo da série de peneiras adotada.

A análise por microscopia óptica da areia aluvionar apresentou ausência de material angular e de material subangular nas três frações granulométricas analisadas. O material arredondado teve representação de mais de 70% e o bem arredondado não ultrapassou os 20% nas três malhas analisadas (0,6 mm, 0,3 mm e 0,15 mm). Os grãos desta areia mostraram, predominantemente, média esfericidade e na malha de 0,6 mm predominaram grãos de média-alta esfericidade. A textura superficial mostrou-se lisa, mas pouco polida.

Com relação ao resultado da análise dos finos de pedreira, observou-se que a freqüência de grãos arredondados nas três frações foi superior a 68%. Vale ressaltar que, apesar de uma pequena quantidade, os finos de pedreira apresentaram grãos subangulares, nas três malhas, com porcentagem pouco maior na malha de 0,6 mm (3,82%). Já o material angular estava presente apenas na malha de 0,6 mm, também apresentando pequena porcentagem: 1,53%. Os grãos dos finos de pedreira apresentaram, predominantemente, média esfericidade e textura superficial rugosa, pouco polida.

Ainda sobre as características físicas das areias, o estudo da massa unitária revelou para a areia aluvionar valores de 1,36 g/cm^3 e para os finos de

pedreira 1,50 g/cm^3 . Já o ensaio de determinação da densidade real apresentou os seguintes resultados: areia aluvionar 2,55 g/cm^3 e finos de pedreira 2,58 g/cm^3 .

ARGAMASSAS

A partir da determinação das massas de areia e cimento, calculou-se a quantidade de água que seria utilizada para o preparo das argamassas. Para isso, foi determinada a consistência das argamassas conforme Norma ABNT (1995b): Argamassa para assentamento em paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência – Padrão (NBR-13276). A quantidade de água determinada neste ensaio encontra-se apresentada na Tabela 4.

Na moldagem dos corpos de prova para a execução dos ensaios de resistência à compressão simples, foram utilizados 2,2 kg de cada areia. Nesta etapa manteve-se a proporcionalidade entre as quantidades de aglomerante, agregado e água. As massas correspondentes estão apresentadas na Tabela 5.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples aos 7, 28 e 90 dias, sobre as argamassas elaboradas com areia aluvionar e finos de pedreira estão sumariados na Tabela 6, juntamente com os valores médios das resistências mostradas por argamassas onde havia sido empregada areia-padrão IPT.

Com os resultados obtidos, elaborou-se o gráfico comparativo das resistências das argamassas (Figura 6).

Observando-se os resultados dos ensaios após os períodos de cura determinados, constatou-se um crescimento da resistência à compressão das argamassas à medida que os períodos de cura aumentaram. Entretanto, ficou clara a diferença de resistência da argamassa preparada com finos de pedreira, que se destaca sempre com valores maiores.

TABELA 4. Massas do aglomerante, do agregado e da água para obtenção do índice de consistência.

Tipo de areia	Massa cimento (kg)	Massa areia (kg)	Água (kg)	Relação água/cimento (kg/kg)	Diâmetro do disco (mm)
Aluvionar	0,172	1,4	0,335	1,95	248
Finos de pedreira	0,155	1,4	0,235	1,52	245

TABELA 5. Massas do aglomerante, do agregado e da água utilizadas para elaboração dos corpos de prova.

Tipo de areia	Massa cimento (kg)	Massa areia (kg)	Água (kg)
Aluvionar	0,270	2,2	0,527
Finos de pedreira	0,244	2,2	0,371

TABELA 6. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples para as argamassas estudadas.

Período de cura	Tipn de areia	CP1	CP2	CP3	CP4	Média
7 dias	aluvionar	1,09	0,88	0,93	0,93	0,96
	finos de pedreira	3,64	3,53	3,32	3,43	3,48
	padrão	2,30	2,20	2,40	2,20	2,30
28 dias	aluvionar	1,66	1,76	1,87	1,56	1,71
	finos de pedreira	5,87	5,97	5,92	5,71	5,87
	padrão	4,20	4,30	4,30	4,10	4,20
90 dias	aluvionar	3,63	3,22	3,43	3,63	3,48
	finos de pedreira	8,51	8,62	8,51	8,83	8,62
	padrão	4,90	4,80	5,00	5,00	4,90

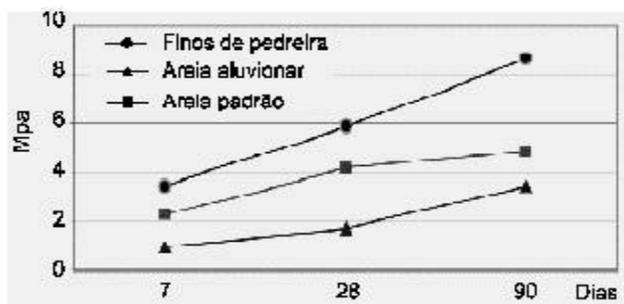


FIGURA 6. Gráfico comparativo de resistência à compressão simples para as argamassas estudadas.

A resistência apresentada pela argamassa elaborada com finos de pedreira mostrou o maior valor entre as argamassas ensaiadas, atingindo aos 90 dias mais que o dobro do resultado mostrado pela argamassa preparada com areia aluvionar.

Deve-se ainda assinalar o incremento da resistência mostrado pela argamassa preparada com finos de pedreira, que apresentou um ganho de 147% na resistência à ruptura após 90 dias em relação à resistência após 7 dias. Já a areia aluvionar apresentou

ganho de 262%, porém com valor absoluto mais baixo que o alcançado pela argamassa elaborada com finos de pedreira. Comparando-se os resultados com a argamassa preparada com areia-padrão, observou-se valores invariavelmente mais altos da argamassa com finos de pedreira, mostrando diferença de 3,72 MPa em 90 dias de cura.

A análise por microscopia eletrônica de varredura – MEV – teve como um dos objetivos observar o comportamento da pasta de cimento em relação ao grão de areia, ou seja, se a massa de cimento envolveu por completo os grãos arenosos e se era visível o aparecimento de porosidade ou zonas de fraqueza. Teve também o objetivo de verificar se houve a formação de neominerais originados pela reação entre álcalis ativos disponíveis do cimento e minerais de alguns agregados, por exemplo, minerais do grupo da sílica. As análises com aumento de até 500 vezes no microscópio eletrônico de varredura, não revelaram a presença de neominerais formados no contato dos grãos com os álcalis de cimento. Observou-se também, em aumentos de até 10.000 vezes, completo envolvimento dos grãos pela massa de cimento e ausência de zonas de fraqueza ou fratura.

CONCLUSÕES

Tomando como base os resultados obtidos, pôde-se concluir que as areias estudadas se prestam para a utilização na preparação de argamassas.

Entretanto, como o enfoque principal deste estudo era mostrar a possibilidade do emprego de areia resultante da britagem de rocha granítica-gnáissica na preparação de argamassas, algumas características desta areia, identificadas ao longo deste estudo, devem ser ressaltadas:

- boa distribuição granulométrica, permitindo melhor preenchimento de vazios deixados por grãos maiores possibilitando assim, preparação de argamassas com menores quantidades de cimento, tornando-se, desta forma, mais econômicas;

- grau de arredondamento variável, com grãos desde angulares até bem arredondados, característica importante no que diz respeito ao imbricamento dos grãos, pois quanto melhor o imbricamento mais resistente aos esforços de compressão e flexão será a argamassa;
- não apresentou qualquer dificuldade na obtenção do índice de consistência da massa de argamassa (*flow*);
- mostrou boa trabalhabilidade pois, apesar dos grãos serem rugosos e angulosos, os corpos de prova para determinação da resistência à compressão simples foram moldados sem qualquer dificuldade;
- mostrou valores de resistência à compressão simples relativamente altos quando comparados aos

valores de resistência da areia aluvionar, inclusive com o da areia-padrão IPT. A diferença de desempenho mecânico pode ser explicada pela diferença na relação água/cimento necessária à produção de argamassas plásticas. Os finos de pedra exigem menos água que o da areia aluvionar, mesmo para um traço mais pobre;

- apresentou, para o mesmo período de cura, maior resistência à compressão simples devido à textura superficial dos grãos, mais rugosos e mais angulosos;
- os grãos foram totalmente envoltos pela massa de cimento, proporcionando, assim, melhor ligação entre agregado e aglomerante e, conseqüentemente, maior resistência da argamassa;
- não apresentou neominerais formados pela reação entre os grãos do agregado e os álcalis do cimento, dentro do período de cura analisado (90 dias).

É importante ressaltar que esse material é ainda pouco utilizado na construção civil. Um dos maiores problemas enfrentados pelas pedreiras, somado à imensa quantidade de finos gerada no processo de cominuição da rocha (atinge 10 a 15% da quantidade

de brita produzida), é justamente controlar a estabilização das pilhas de estoque desses resíduos finos. Essas pilhas, quando sujeitas à ação dos ventos, liberam material particulado provocando poluição do ar, que muitas vezes se espalha por quilômetros de distância das pedreiras. As chuvas por sua vez, provocam o carreamento dos finos que geram entupimento das tubulações, assoreamento de drenagens próximas à área da mineração e turvamento das águas. As pilhas causam, ainda, grande poluição visual e ocupam grandes áreas da mineração (usadas para estoque quando poderiam receber destino mais nobre), além de grandes prejuízos para flora e fauna local.

Concluindo, a areia resultante da britagem de rocha, os denominados finos de pedra, é um material adequado para o preparo de argamassas e espera-se que estes resíduos venham a constituir em produto das minerações produtoras de brita. Assim, terá um valor agregado, as distâncias de transporte entre as minerações fornecedoras e os centros consumidores diminuirão, e sua utilização reduzirá parte dos problemas ambientais a partir do momento em que as pilhas destes materiais se esgotarem ou diminuirão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Areia normal para ensaio de cimento – Especificação. **NBR-7214**. 1982 (a).
2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. **NBR-7251**. 1982 (b).
3. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostragem de agregados – Procedimento. **NBR-7216**. 1987 (a).
4. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da composição granulométrica. **NBR-7217**. 1987 (b).
5. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à compressão simples - Método de Ensaio. **NBR-13279**. 1995 (a).
6. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Argamassa para assentamento em paredes e revestimento de paredes e tetos - determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência – Padrão. **NBR-13276**. 1995 (b).
7. AGRAWAL, Y.C.; McCAYE, I.N.; RILEY, J.B. Laser diffraction size analysis. In: SYVITSKI, J.P.M. (Ed.), **Principles, methods and application of particle size analysis**. Cambridge University Press, New York, 1991, p. 119-128.
8. FUJIMURA, F.; SOARES, L.; HENNIES, W.T.; SILVA, M.A.R. O uso de finos de pedreiras de rochas gnáissicas e graníticas em substituição às areias naturais. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29, 1995, Cuiabá. **Sessão Técnica 1**, Trabalho n. 108, 1995, p. 147-156.
9. IOSHIMOTO, E. **Argamassas**. Apostila da disciplina Tecnologia e Materiais de Construção Civil II. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1988, 35p.
10. IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do estado de São Paulo, escala 1:500.000**. Divisão de Minas e Geologia Aplicada / Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981, 126 p.
11. LEICA QWIN. **User Guide**. In: Leica Imaging Systems Ltd. Glossary of Image Analysis Terminology. Cambridge, 1996, p. g-1 a g-30.
12. SINDIPEDRAS – SINDICATO DAS INDÚSTRIAS DE MINERAÇÃO DE PEDRA BRITADA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo de Pedreiras do Estado de São Paulo**, 1997, 20 p.
13. SOARES, L.; FUJIMURA, F.; BLASQUES JÚNIOR, M.; RACHEL, R.M.; BRAGA, J.M.S. Areias naturais: material de construção cada vez mais escasso na Região Metropolitana da Grande São Paulo. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS, 2, 1997, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABM, 1997.
14. SOARES, L. & MENDES, K. da S. O aproveitamento de finos de pedreiras. **Revista Brasil Mineral**, n. 179, p. 38-45, 1999.
15. SOARES, L. & PISSATO, E. Addition of quarry fines in soil cement mixtures. In: AGGREGATE 2001 – ENVIRONMENT AND ECONOMY, 2001, Helsinki, Finland. The Aggregate Commission of IAEG. Tampere University of Technology, 2001, v. 2, p. 449-454.
16. WHITAKER, W. **Técnicas de preparação de areia para uso na construção civil**. São Paulo, 2001. 202 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
17. ZANCHETTA, L.M. **Características tecnológicas de argamassas elaboradas com diferentes tipos de areias**. São Paulo, 2000. 80 p. Monografia (Trabalho de Formatura) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.