

ESTUDO DE VIABILIDADE TECNICA PARA OBTENÇÃO DE
AREIA ARTIFICIAL DE PEDRA.

THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA

PAULO ABIB ANDERY E ASSOCIADOS S.C.LTDA.

1. INTRODUÇÃO

O presente estudo tem por objetivo estabelecer a viabilidade de técnica do beneficiamento do pedrisco e pó de pedra resultantes da britagem, para posterior utilização como agregado miúdo (areia artificial de pedra) de concreto de cimento de rocha granítica de pedreira da Serra da Cantareira em São Paulo.

2. COLETA DE DADOS E AMOSTRAS

2.1 Especificações para o Agregado Miúdo Artificial

Para o estabelecimento das condições desejáveis para a areia artificial, foram consultadas e comparadas as especificações:

ABNT, EB-4 - Especificação Brasileira de Agregados para Concreto

ASTM, C 33-71a - Standard specification for concrete aggregates

BSI, BS 882-1.201 - Specification for aggregate, from natural sources, for concrete.

As referidas especificações em linhas gerais estabelecem as seguintes condições para o agregado miúdo:

2.1.1 Diâmetro máximo:

ABNT e ASTM: 4,8 mm

BSI : 4,8 mm e 9,5 mm

2.1.2 COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

Malha abert. nom. (mm)	ABNT				BSI				ASTM
	zona ótima	zona utilizável	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Porcentagem acumulada passando		
9,5	100	100	100	100	100	100	100	100	100
4,8	95-97	97-100	90-100	90-100	90-100	95-100	95-100	95-100	95-100
2,4	57-71	71-87	60-95	75-100	85-100	95-100	95-100	80-100	80-100
1,2	36-51	51-77	30-70	55-90	75-100	90-100	90-100	50-85	50-85
0,6	17-32	32-58	15-34	35-59	60-79	80-100	80-100	25-60	25-60
0,3	6-17	17-27	5-20	8-30	12-40	15-50	15-50	10-30	10-30
100 ≠ 0,15	2- 7	7-12	0-10(+)	0-10(+)	0-10(+)	0-15(+)	0-15(+)	2-10	2-10

(+) Para a areia resultante da britagem de rocha estável, os limites na malha

0,15 mm passam a 0 - 20.

2.1.3 Material pulverulento passando na peneira nº 200 (0,075mm),
limite máximo

	<u>ABNT</u>	<u>ASTM</u>
Em concreto submetido a desgaste superficial	3	5
Para outros concretos	5	7

A B.S.I. admite, para o caso da areia artificial de pedra, até 15% de material abaixo da malha nº 200.

A ASTM condiciona o aumento das porcentagens para os valores acima, isto é, 5 a 7%, ao fato de o material abaixo de 0,075 mm constituir-se apenas de pó resultante do fraturamento da pedra e livre de argila.

2.1.4 Módulo de finura

Apenas a ASTM faz referência ao módulo de finura, limitando seu valor entre 2,3 e 3,1.

2.1.5 Outras informações

Nessa fase de coleta de informações procurou-se também ouvir a opinião do Eng^o Luiz A. Falcão Bauer, responsável pela dosagem e controle tecnológico do concreto preparado em usinas da capital do Estado. O referido engenheiro admitiu as limitações impostas pela EB-4, advertindo, entretanto, que, para emprego em mistura com a areia natural quartzosa de Jacareí, o material obtido deveria, se possível, apresentar porcentagens retidas elevadas entre 06 mm e 0,15 mm, para correção de granulometria final do agregado miúdo. Isto, tendo em vista que a areia de Jacareí apresenta falta de material naquela faixa.

Assim sendo, procurou-se orientar os ensaios de beneficiamento, no sentido de reduzir a parcela de material abaixo de 0,075mm, enquadrando-a aos limites impostos pela ABNT que se aproximam daqueles indicados pela ASTM.

2.2 Coleta de Amostras

2.2.1 Processamento

As amostras foram coletadas nas calhas de transferência das

correias transportadoras.

Os trabalhos foram desenvolvidos em períodos contínuos de operação da instalação de britagem, interrompendo-se a amostragem em períodos de paralização de equipamentos ou de chuva.

As amostras foram colhidas em períodos de 30 segundos e separadas em dois conjuntos:

- 3/8" + 4,8 mm
- 4,8 mm

Para retirada de alíquotas para ensaios granulométricos, as amostras foram homogeneizadas e enquartadas, sendo o material restante acondicionado em tambores, para posterior ensaio.

A distribuição da produção de pedrisco e pó de pedra pode ser resumida em:

<u>Material</u>	<u>Toneladas/hora</u>
Pedrisco (-3/8" + 4,8 mm)	4,5
Pó (- 4,8 mm)	10,1

2.2.2 Análises Granulométricas

Foram executadas análises granulométricas das amostras, seguindo o método MB-7 da A.B.M.T., com processamento a úmido.

Os resultados dos ensaios estão expressos nas tabelas apresentadas a seguir:

QUADRO 01

	<u>A - Pó de Pedra (-4,8 mm)</u>							
<u>Malha</u>	<u>4</u>	<u>8</u>	<u>16</u>	<u>30</u>	<u>50</u>	<u>100</u>	<u>200</u>	<u>-200</u>
% Retida na Malha	4,9	18,2	22,6	17,5	8,2	12,6	5,2	10,8
% Retida Acumulada na Malha	4,9	23,1	45,7	63,2	71,4	84,0	89,2	100,0
% Passante acumulada	95,1	76,9	54,3	36,8	28,6	16,0	10,8	-

QUADRO 02B - Pedrisco (-3/8 + 4,8 mm)

Malha	4	8	16	30	50	100	200	-200
% Retida na Malha	41,78	44,35	5,26	2,41	0,35	2,38	0,85	2,62
% Retida Acumulada na Malha	41,78	86,13	91,39	93,80	94,15	96,53	97,38	100,0
% Passante acumulada	58,22	13,87	8,61	6,20	5,85	3,47	2,62	-

3. PROCESSAMENTO EXPERIMENTAL

Observando os resultados das análises granulométricas indicadas em 2.2.2, podemos concluir:

- para utilização do pedrisco como agregado, basta promover lavagem na peneira;
- o pó de pedra deve ser classificado para redução das porcentagens - passantes nas malhas 100 e 200.

3.1 Ensaio de Classificação

Realizaram-se 20 experiências em classificador espiral suficientes para definição dos dados para projeto, tais como:

- % sólidos na alimentação
- % sólidos no "overflow" do classificador
- % sólidos no "underflow"
- recuperação em massa
- consumo de água

As características do classificador de laboratório podem ser resumidas em:

- velocidade da espiral - 39 RPM
- diâmetro da espiral - 6 pol.
- ângulo do classificador - 3,5 pol/pé

Os dados dos ensaios Nº 16, 17 e 18, por serem os mais representativos, estão apresentados em anexo.

ENSAIO DE CLASSIFICAÇÃO Nº 17

Increm.	Material	Medidas Diretas		Vazão (vol.) % Sólidos	Vazão de água de água Its/min	Compos. Amostras		Apuração das Amostras						
		Vazão (massa)	Vazão (vol.)			Tempo de increm.	% Sól. Real	Over	Under	Feed	Over Under			
Nº Hora		F	U	O	U	F	0	U		Over	Under	Feed	Over	Under
1 14 ^h 15 ^{min}	4,8	900	398	602	381	510	310	6,5	77	0,76	40 ^s	40 ^s		
2 14 ^h 25 ^{min}		900	375	585	362	295	295	6,0	78,4	0,76	40 ^s	40 ^s		
3 14 ^h 35 ^{min}		910	400	549	382	275	275	7,0	79,4	0,76	40 ^s	40 ^s	54,5	6,4 78
4 14 ^h 50 ^{min}		920	383	609	370	305	305	6,0	79,4	0,76	40 ^s	40 ^s		
Massas/min.		900	39	695										
		900												
		910												
		920												

ENSAIO DE CLASSIFICAÇÃO Nº 18

Increm.	Nº Hora	Medidas Diretas				Material	4,8	Vazão de água de água lts/min	Compos. Amostras		Apuração das Amostras							
		F	O	U	F				O	U	Tempo incremento	% Sólidos	Feed	Over	Under			
1	15 ^h 50 ^{min}	1000	382	1138	340	567	40	16	80,1	U	0	U	120 ^s	Under	60 ^s	72	17	80,1
2	15 ^h 53 ^{min}	1000	358	1230	320	615	40	17	79,4	U	0	U	120 ^s	Under	60 ^s	72	17	80,1
3	16 ^h 00 ^{min}	940	440	976	390	480	37,3	18	80,6	U	0	U	120 ^s	Under	60 ^s	72	17	80,1
4	16 ^h 05 ^{min}	880	433	1050	390	505	39,6	16	82,3	U	0	U	120 ^s	Under	60 ^s	72	17	80,1

4. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO OBTIDO

4.1 Granulometria

As características granulométricas dos produtos dos ensaios estão apresentadas na tabela abaixo:

(SEGUE TABELA A)

TABELA A

ENSAIO

Nº	% Sólidos overflow		Produtos	Granulom. % Pass. Peneira Nº						% Sólidos Aliment.		
	Med.	Calc.		4	8	16	30	50	100	200	Med.	Calc.
16	6,1	6,03	u	94,9	72,3	49,3	32,2	19,3	8,4	3,5	49,6	50,0
17	6,3	6,4	o	95,1	73,7	70,5	33,6	21,9	9,6	4,6	39,3	54,5
18	17	17,00	o	94,6	72,4	49,4	33,9	21,5	10,9	5,5	39,3	72
ALIM.				95,1	76,9	54,3	36,8	28,6	16,0	10,8		

Analisando estes dados, podemos elaborar a tabela apresentada a seguir, a qual contém os resultados dos ensaios:

T A B E L A B

ENS. % Sól.	No	Over	Repert. Massas	Fração Acumu. re tirada under em d ₉₅	C=1-s	L=0,05C	M=r s	N=L+M	O=1-N	$P=\frac{L}{N}$	Q=C-P	Eficiência
			$S = \frac{U}{A}$									$E = \frac{100 \times Q}{O}$
			50 100 200									
16	6,03		0,857 0,855 0,938	92,0	0,169	0,0085	0,7645	0,7730	0,2270	0,01099	0,1580	69,6
17	6,4		0,858 0,726 0,789	91,0	0,169	0,0085	0,7562	0,7647	0,2353	0,01112	0,1579	67,1
18	17,0		0,906 0,589 0,720	90,0	0,0169	0,0085	0,7479	0,7564	0,2436	0,01124	0,1578	64,8

5. CONCLUSÕES

Com os dados das experiências de classificação, podemos concluir que:

- 5.1. É possível, através de um sistema de classificação, com classificador espiral, obter-se areia artificial, a partir do pó de pedra com características granulométricas dentro das normas A.B.N.T..
- 5.2. A recuperação em massa (relação entre as massas de areia artificial produzida e pó de pedra alimentado) é de 83%.
- 5.3. O consumo de água é de aproximadamente $93 \text{ m}^3/\text{h}$, ou seja, $3,5 \text{ m}^3$ por tonelada de areia artificial produzida.
- 5.4. São reproduzidos em anexos os certificados dos ensaios de qualidade de areia realizados com amostras resultantes do estudo realizado em escala de laboratório.

Engenheiro Civil
L. A. FALCÃO BAUER
Contrôle Tecnológico de Concreto

Certificado nº 1.453

ENSAIO DE QUALIDADE DE AREIA

AREIA NATURAL

ENSAIOS

* 535

Agramassa normal plástica obtida com cm^3 de água por grama de cimento:
data da moldagem: 11 / 05 / 72

flow-table 170 mm.
água: 155 grs.
traço: 1 kg de areia
cimento: 333 gras.
observações: * 3 cps.

Idade em dias e data de ruptura

c.p.		c.p.		c.p.	
kg/cm ²		kg/cm ²		kg/cm ²	
1	143	7	-	13	-
2	136	8	-	14	-
3	130	9	-	15	-
4	-	10	-	16	-
5	-	11	-	17	-
6	-	12	-	18	-
m.	136	m.	-	m.	-

ensaio realizado de acordo com as normas brasileiras
(a. b. n. t.)

São Paulo, 15 de maio de 1.972

LIBERATO
operador

Original Assinado
por A. Maria Silva
eng.responsavel

Engenheiro Civil

L. A. FALCÃO BAUER

Contrôle Tecnológico de Concreto

Certificado nº 1.454

ENSAIO DE QUALIDADE DE AREIA

ENSAIOS

* 535

Agramassa normal plástica obtida com cm^3 , de água por grama de cimento:
 data de moldagem: 11 / 05 / 72

flow table 170 mm
 água: 155 grs.
 traço: 1 kg de areia artificial
 cimento: 333 grs. de cimento
 observações: 3 cps.

Ensaio comparativo com ensaio nº 1.453; cujos resultados são:

* 3 dias: 143, 136 - 130 = 136

Idade em dias e data da ruptura

3 14/05/		7 - / -		28 - / -	
c.p.	kg/cm ²	c.p.	kg/cm ²	c.p.	kg/cm ²
1	200	7	-	13	-
2	189	8	-	14	-
3	184	9	-	15	-
4	-	10	-	16	-
5	-	11	-	17	-
6	-	12	-	18	-
m.	191	m.	-	m.	-

ensaio realizado de acordo com as normas brasileiras (a. b. n. t.)
 São Paulo, 15 de maio de 1.972.

LIBERATO

operador

Original Assinado
 por A. Maria Silva
 eng.responsavel

Engenheiro Civil

L. A. FALCÃO BAUER

Contrôle Tecnológico do Concreto

Certificado nº 1.455

ENSAIO DE QUALIDADE DE AREIA

Areia Artificial - CH - 17

ENSAIOS * 535

Agramassa normal plástica obtida com cm^3 de água por grama de cimento:
 data da moldagem: 11 / 05 / 72

flow-table 170 mm
 água: 155 grs.
 traço: 1 kg de areia artificial
 cimento: 333 grs.
 observações: 3 cps.

Ensaio Comparativo com ensaio nº 1.453; cujos resultados são:

3 dias: - 143 - 136 - 130 = 136

Idade em dias e data da ruptura					
3	14/05/	7	- / -	28	- / -
c.p.	kg/cm ²	c.p.	kg/cm ²	c.p.	kg/cm ²
1	126	7	-	13	-
2	142	8	-	14	-
3	148	9	-	15	-
4	-	10	-	16	-
5	-	11	-	17	-
6	-	12	-	18	-
m.	139	m.	-	m.	-

ensaio realizado de acordo com as normas brasileiras (a. b. n. t.)

São Paulo, 15 de maio de 1.972.

LIBERATO

Operador

Original Assinado
 por A. Maria Silva
 eng.responsavel

Engenheiro Civil

L. A. FALCÃO BAUER

Contrôle Tecnológico do Concreto

Certificado nº 1.456

ENSAIO DE QUALIDADE DE AREIA

Areia Artificial CH - 16

ENSAIOS * 535

Agramassa normal plástica obtida com cm^3 de água por grama de cimento:
 data da moldagem: 11 / 05 / 72

flow-table 170 mm
 água: 155 grs.
 traço: 1 kg de areia artificial
 cimento: 333 grs.
 observações: 3 cps.

Ensaio Comparativo com ensaio nº 1.453; cujos resultados são:

3 dias: - 143 - 136 - 130 = 136

Idade em dias e data da ruptura

3	14/05/-	7	- / -	28	- / -
c.p.	kg/cm ²	c.p.	kg/cm ²	c.p.	kg/cm ²
1	126	7	-	13	-
2	142	8	-	14	-
3	148	9	-	15	-
4	-	10	-	16	-
5	-	11	-	17	-
6	-	12	-	18	-
m.	139	m.	-	m.	-

ensaio realizado de acordo com as normas brasileiras (a. b. n. t.)
 São Paulo, 15 de maio de 1.972.

LIBERATO

Operador

Original Assinado
 por A. Maria Silva
 eng responsável

DEBATES

O Sr. Eng^o Veras - Já está essa instalação em funcionamento?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Não, ela está em implantação.

O Sr. Eng^o Veras - E o mercado consumidor, além dos testes, já existe possibilidade de colocação dessa areia artificial no mercado?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Existe indústria, a que propuzemos o trabalho, é consumidora de areia. É uma indústria de preparação de concreto.

O Sr. Goodson Barbosa de Moura - Após o material sair do classificador, ele - conforme o senhor disse - sai com uma porcentagem de sólidos da ordem de 80%. O produto estaria pronto para comercialização. Não há nenhuma secagem?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Não. Em relação ao teor de umidade ela terá praticamente as mesmas condições da areia natural. Não há secagem e o material, após o processamento, é empilhado de depois - carregado para o transporte até o ponto de consumo.

O Sr. Darly Geraldo Sena - O senhor vê, atualmente, possibilidade de colocação dessa areia inicial, em termos de competição, com a areia do rio?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Sim, e ela já está sendo utilizada inclusive sem beneficiamento, em virtude do alto custo da areia natural, atualmente em São Paulo. Há uma nítida tendência de as usinas de concretos utilizarem a areia artificial de pedra.

O Sr. Darly Geraldo Sena - Esse estudo foi feito para o granito. Há recomendações para uma outra rocha, para aplicação dos mesmos processos?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Acho que sim, porque o problema parece que é mais granulométrico do que de qualquer outra natureza. A natureza do material provavelmente não terá influência no caso do concreto.

O Sr. Darly Geraldo Sena - Só foi feito estudo para o granito? Há possibilidade de aplicação em outras rochas?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Acredito que sim. Em Brasília, por exemplo, está sendo usada brita de calcário para confecção de concreto.

O Sr. Darly Geraldo Sena - Em alguns casos pode ser usado o calcário sem esse beneficiamento?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Suponho que sim, que não haveria problema algum.

O Sr. Antenor Firmino da Silva Jr. - Então seria o caso da parte norte do Rio Grande do Sul, que é um terreno basáltico, de aproveitar também a areia de pedra.

O Sr. Arnaldo Guzinski - A que é atribuído o aumento da resistência do concreto, com a utilização da areia artificial de pedra?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Não está muito bem definida ainda esta correlação, mas acredita-se que possa ser atribuída a duas características: o fraturamento e a natureza áspera da superfície dos fragmentos resultantes da britagem. A maior superfície que ela oferece à matriz do concreto, possivelmente será a razão predominante. A areia natural tende à forma arredondada, oferecendo menor superfície para aquele envolvimento.

O Sr. Arnaldo Guzinski - Essa instalação terá capacidade em torno de 6 mil toneladas, não?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Exatamente.

O Sr. Arnaldo Guzinski - Que parcela representa em relação ao consumo de areia em São Paulo?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Acredito que menos de 10%. Admito um consumo em torno de 90 mil a 100 mil toneladas por mês, para concreto, evidentemente.

O Sr. José Júlio Carneiro - No caso do senhor estender o estudo para a fração abaixo de 200 mesh, visando uma eventual aplicação, dependendo das características mineralógicas, vê a possibilidade de aplicação dessa fração?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - Não consigo assim de momento, prever. Evidentemente poderia ser estudado, embora seja uma parcela pequena, tendo em vista que a recuperação em massa no processo situa-se em torno de 83%.

O Sr. Evaldo Ávila da Silva - Em relação à adição de água no peneiramento, a instalação é a seco?

O SR. THEMISTOCLES ALVIM DE LIMA - É a seco. Uma das vantagens adicionais do processo é melhorar o agregado gráudo. No caso, o lançamento se faz na peneira que classifica a pedra 1, normalmente produto que se apresenta contaminado com pó, durante a época de chuvas. A introdução de água no processo de britagem tem reflexos inclusive nos custos de manutenção de equipamentos, pela eliminação de problemas de rolamentos em virtude da entrada de pó.

Se não houver mais pergunta, vou encerrar esta palestra agradecendo a atenção de todos. (Palmas)