

ESTUDO DE APLICAÇÃO NA ENGENHARIA CIVIL DOS REJEITOS FINOS DA EXTRAÇÃO DE ARENITO SILICIFICADO

Alexandre Magalhães de Petrini Coelho¹; Denise Balestrero Menezes²; Teresinha de Jesus Bonuccelli³

Resumo – Esta pesquisa estudou duas areias britadas de arenito silicificado Botucatu da região de São Carlos, no estado de São Paulo, produzidas *in loco* por uma pedreira da região. O objetivo do estudo foi a caracterização do material através de ensaios de granulometria e fluorescência de raios-x (FRX) e identificação de usos na engenharia civil, fundamentado nas recomendações das normas da ABNT para essa utilização. Os ensaios e análises realizados permitiram concluir que os materiais estudados têm bom potencial para uso como agregado miúdo para utilização em concreto e, também, em pavimento intertravado (camada de assentamento e rejuntamento), pois os valores obtidos estão muito próximos aos valores considerados adequados pelas normas. E ainda, essa inadequação do material seria resolvida pela remoção de parte do volume das frações finas no processo de beneficiamento. O uso do FRX apresenta potencialidade para indicação da presença de materiais degradantes do concreto, como sulfatos e cloretos, assim como da composição mineralógica das areias como um todo.

Abstract – This research studied two types of crushed sandstone from silicified Botucatu sandstone in the São Carlos region of São Paulo state, produced locally by a quarry in the area. The objective of the study was to characterize the material through particle size analysis and X-ray fluorescence (XRF) testing, as well as to identify potential uses in civil engineering based on the recommendations of ABNT standards for such applications. The tests and analyses conducted allowed us to conclude that the studied materials have good potential for use as fine aggregate in concrete and in interlocking pavement (bedding and jointing layers). The obtained values are very close to those considered suitable by the standards. Furthermore, any inadequacy of the material could be resolved by removing part of the volume of fine fractions during the beneficiation process. The use of XRF has the potential to indicate the presence of concrete-degrading materials, such as sulphates and chlorides, as well as the mineralogical composition of the sands as a whole.

Palavras-Chave – Arenito Botucatu; Areia artificial; Caracterização geotécnica; Aplicações na construção civil; Fluorescência de Raios-X

¹ Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, alexandre.petrini@estudande.ufscar.br

² Geól., Profa. Dra, Universidade Federal de São Carlos, (16) 3306-6442, denisebm@ufscar.br

³ Eng., Profa. Dra, Universidade Federal de São Carlos, (16) 3351-9665, bonuceli@ufscar.br

1. INTRODUÇÃO

Os arenitos silicificados da Formação Botucatu são rochas sedimentares siliciclásticas encontradas ao longo do Sul, Sudeste e Centro-oeste brasileiros nos domínios da Bacia Vulcano-Sedimentar do Paraná (Portillo, 1988). Devido às suas características estéticas e de absorção de água, esses litotipos são amplamente utilizados na construção civil, nas localidades onde ocorrem, como na região São Carlos-Araraquara no interior de São Paulo, onde existe uma indústria extensiva de extração desses materiais juntamente aos basaltos da Formação Serra Geral (Portillo, 1988; Coelho & Menezes, 2022).

Essas atividades extratoras e o beneficiamento das rochas em blocos, bloquetes e placas para uso na construção civil geram resíduos como estéril e rejeitos na forma de lascas, areias e pó de rocha, que por ora não têm nenhum uso comercialmente viável identificado além de aplicações pontuais, como aterros dentro das próprias pedreiras ou alguma venda como insumos para jardinagem; e com isso se tornam passivos ambientais (Coelho & Menezes, 2022).

Isso, juntamente com o interesse das pedreiras em dar um destino comercial a esses materiais, fomentou vários estudos de caracterização física das qualidades deles por parte de pesquisadores do DECiv-UFSCar como Porto (2016); Moraes (2018); Moraes et al. (2018) e Coelho & Menezes (2022).

Uma das pedreiras da região de São Carlos abriu uma planta de beneficiamento de rochas, composta de unidade de britagem e peneiramento, que brita arenitos silicificados vermelho e amarelo, tendo as areias com diâmetros inferiores a 2mm como um dos produtos para comercialização. Devido à sua origem artificial, estas areias ainda não haviam sido caracterizadas até a data de início deste trabalho.

O objetivo deste projeto de pesquisa foi, portanto, caracterizar estas areias artificiais de modo a verificar suas características geotécnicas e viabilidade de uso na engenharia civil, através de ensaios de análise granulométrica dos grãos e fluorescência de raios-x (FRX) para caracterização química.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Coleta das amostras

As amostras estudadas foram retiradas de produtos da planta de britagem e peneiramento da pedreira Picinin, localizada próxima às margens da rodovia Washington Luis, em São Carlos SP. Esta planta de beneficiamento produz vários tipos de areia artificial peneirada, ou seja, que passa na peneira de diâmetro 2mm (malha no.10, ABNT NBR NM ISO 3310-2, 2010).

Dos produtos da planta de britagem foram escolhidas amostras de areias artificiais oriundas de arenito Botucatu amarelo e vermelho, que foram denominadas para fins de identificação AC e AV, respectivamente.

Tabela 1: Tipos de arenitos ensaiados.

Amostra coletada	Litotipo	Código amostral
areia britada peneirada (Passa #10 ABNT)	Arenito vermelho	AV
areia britada peneirada (Passa #10 ABNT)	Arenito Amarelo	AC

Fonte: Autoria própria

2.2. Análise granulométrica

Estas análises foram realizadas no Laboratório de Geociências da UFSCar.

2.2.1. Peneiramento

As amostras foram submetidas aos procedimentos de peneiramento grosso e fino seguindo os procedimentos delineados pela norma NBR 7181 (ABNT, 2018) no agitador de peneiras.

2.2.2. Densidade dos grãos

Para a realização do ensaio de obtenção da densidade dos grãos, foram utilizados 2 picnômetros de 500ml, que foram calibrados de acordo com procedimentos do Laboratório de Geotecnia da UFSCar e com utilização de uma bomba de vácuo, um dispersor, um termômetro digital com resolução de 0,1°C e uma balança digital com resolução de 0,01g. Ambas as amostras foram ensaiadas seguindo os procedimentos preconizados pela norma ABNT NBR 6458 (2017).

2.2.3. Sedimentação

A etapa de sedimentação foi realizada de acordo com as recomendações da norma ABNT NBR 7181 (2018), utilizando 1 proveta graduada e 1 densímetro, além de outros aparelhos essenciais como cronômetros e um termômetro digital. Os densímetros já estavam calibrados e, portanto, foram utilizadas as curvas de calibração dos mesmos.

2.3. Fluorescência de Raios-X

As mesmas amostras foram submetidas, em seguida, a um ensaio de fluorescência de raios-x (FRX), no Laboratório de Caracterização Estrutural - LCE da UFSCar. A análise de FRX permite identificar quais elementos (com massas entre sódio e urânio) estão presentes nas amostras, e em quais porcentagens. Este ensaio foi introduzido para verificação da sua utilidade em identificar a composição e presença de elementos nocivos ao uso em engenharia civil. O espectrômetro de fluorescência utilizado neste ensaio é um Shimadzu EDX-720.

2.4. Identificação de usos adequados na construção civil

A partir dos dados encontrados foi feita a verificação das normas para identificação de adequabilidade ou não aos usos de areias britadas em diferentes ramos da construção civil. As normas analisadas neste estudo foram:

NBR 7211 (ABNT, 2022): Agregados para concreto - Especificação.

NBR 15953 (ABNT, 2011): Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução.

3. RESULTADOS

3.1. Análise granulométrica conjunta dos grãos e classificação geotécnica das areias

Em termos de classificação textural a areia britada de arenito amarelo é descrita como areia grossa e fina com silte e a areia britada de arenito vermelho é descrita como areia grossa, média e fina com silte. Dos ensaios granulométricos resultaram as curvas para a areia britada de arenito Botucatu amarelo (1-AC), apresentada na Figura 1; e para a areia britada do arenito Botucatu vermelho (1-AV) apresentada na Figura 2.

1-AC % passa acumulada versus diâmetro (mm)

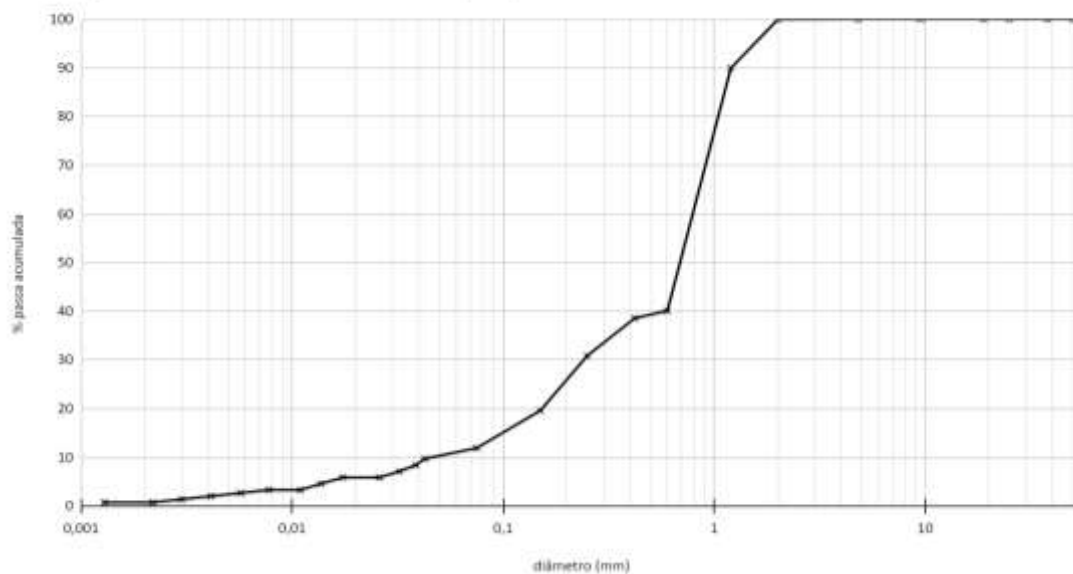


Figura 1: Curva granulométrica para a areia britada de arenito amarelo. Fonte: Autoria própria.

1-AV: % passa acumulada versus diâmetro (mm)

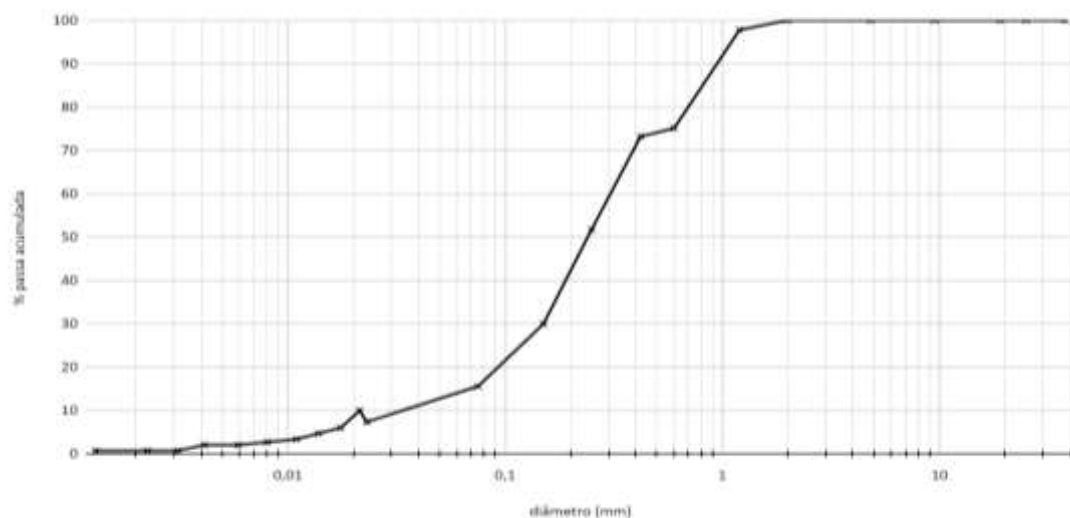


Figura 2: Curva granulométrica para a areia britada de arenito vermelho. Fonte: Autoria própria.

A Tabela 2 apresenta os resultados das porcentagens de frações granulométricas de acordo com a norma ABNT NBR 6502 (2022).

Tabela 2: Frações granulométricas das amostras.

Fração granulométrica	Areia amarela	Areia vermelha
% Pedregulho ($\phi > 2\text{mm}$)	0,00	0,00
% Areia grossa ($0,6\text{mm} < \phi < 2\text{mm}$)	60,00	24,89
% Areia média ($0,2\text{mm} < \phi < 0,6\text{mm}$)	6,00	31,61
% Areia fina ($0,06\text{mm} < \phi < 0,2\text{mm}$)	23,00	29,50
% Areias totais ($0,06\text{mm} < \phi < 2\text{mm}$)	89,00	86,00
% Silte ($0,002\text{mm} < \phi < 0,06\text{mm}$)	10,32	13,28
% Argila ($\phi < 0,002\text{mm}$)	0,68	0,72
% Siltes e argilas ($\phi < 0,06\text{mm}$)	11,00	14,00
densidade dos grãos (g/cm^3)	2,728	2,694

Fonte: Autoria própria.

A partir da curva granulométrica, foi possível obter os diâmetros D10 (10% dos grãos têm diâmetros menores que D10), D30 (30% dos grãos têm diâmetros menores que D30), D60 (60% dos grãos têm diâmetros menores que D60). Com esses resultados, foram calculados os seguintes parâmetros geotécnicos (Tabela 3) para as duas areias: diâmetro efetivo (D10), coeficiente de não uniformidade (CNU), coeficiente de curvatura (CC), coeficiente de permeabilidade (K).

Tabela 3: Parâmetros geotécnicos das areias.

Parâmetro geotécnico	Areia amarela	Areia vermelha
Diâmetro efetivo (D10)	0,042mm	0,035mm
Coeficiente de não uniformidade (CNU) CNU=D60/D10	19,05	8,57
Coeficiente de curvatura (CC) CC=D302/D10.D60	1,86	2,14
Coeficiente de permeabilidade (K) fórmula de Hazen: $K=100.(D10)^2$	0,00176 cm/s	0,00123 cm/s

Fonte: Autoria própria

De acordo com Souza Pinto (2006) quando o coeficiente de não uniformidade está acima de 2, o material é considerado não uniforme. Desta forma, tanto a areia amarela quanto a areia vermelha não são uniformes. Ainda de acordo com Souza Pinto (2006) quando o coeficiente de curvatura está entre 1 e 3, o material é considerado bem graduado, portanto, ambas as areias são bem graduadas, ou seja, apresentaram curvas bem graduadas, contendo grãos de vários diâmetros diferentes. Em termos de parâmetros geomecânicos, as areias bem graduadas tendem a apresentar menores índices de vazios (maior compactidade), menor permeabilidade e maior resistência ao cisalhamento.

Quando o coeficiente de permeabilidade do sedimento está na magnitude de 10^{-5} m/s, o material pode ser classificado como areia fina. Entretanto, esse mesmo autor (Souza Pinto, 2006) enfatiza que a proposta de Hazen para correlação entre o diâmetro efetivo (D10) dos materiais granulares e o coeficiente de permeabilidade (k) funciona bem quando o coeficiente de não uniformidade (CNU) for menor que 5, o que não é o caso desses materiais. Portanto, a utilização desse valor serve como estimativa preliminar da ordem de grandeza do coeficiente de permeabilidade, quando utilizado em projetos que envolvam percolação de água nesse material.

Verificou-se também qual a classe de comportamento geotécnico esperado para esses materiais, utilizando-se a classificação Unificada (ou de Casagrande) e a classificação H.R.B. (Highway Research Board). A Tabela 4 apresenta os resultados dos índices utilizados para se chegar a essas classificações.

Os seguintes comportamentos são esperados para esses materiais: pela classificação H.R.B. obteve-se a classe A2-4, que são materiais bons para sub-leitos de estradas. Pela classificação Unificada obteve-se a classe SM, que são materiais que quando compactados apresentam boa resistência, são semi-permeáveis e tem compressibilidade baixa.

Tabela 4: Classificação Unificada e H.R.B das areias.

Índices usados nas classificações	Areia amarela	Areia vermelha
% passa #200 (0,075mm)	12	15
% passa #4 (4,8mm)	100	100
índice de plasticidade	não plástico (NP)	não plástico (NP)
% passa #10 (2mm)	100	100
% passa #40 (0,42mm)	38	74
Classificação unificada	SM	SM
Classificação HRB	A2-4	A2-4

Fonte: Autoria própria

3.2. Fluorescência de Raios-X

Apresenta-se a seguir nas tabelas 5 e 6 os resultados da fluorescência de Raios X (FRX) obtidos para as duas areias, nas frações que passam pela peneira 16 e 200.

Tabela 5: Resultados de FRX das amostras de AC.

ELEMENTO	AC 16	AC 200
	Porcentagem	Porcentagem
Si	89,174%	87,486%
Al	4,835%	4,739%
K	3,153%	3,488%
Fe	1,824%	3,178%
Ti	0,388%	0,435%
Ba	0,000%	0,232%
Ca	0,375%	0,000%
S	0,197%	0,141%
Zr	0,031%	0,069%
Mn	0,000%	0,063%
Cr	0,000%	0,056%
Sr	0,022%	0,055%
Cu	0,000%	0,029%
Rb	0,000%	0,016%
Y	0,000%	0,013%

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6: Resultados de FRX das amostras de AV.

ELEMENTO	AV 16	AV 200
	Porcentagem	Porcentagem
Si	92,638%	91,127%
Al	3,323%	2,913%
K	2,171%	2,536%
Fe	1,349%	2,606%
Ti	0,200%	0,242%
S	0,195%	0,275%
Mn	0,061%	0,117%
Cu	0,025%	0,029%
Zr	0,021%	0,034%
Sr	0,017%	0,032%
Cr	0,000%	0,089%

Fonte: Autoria própria.

Todas as amostras apresentaram um alto teor de silício (Si), que condiz com sua composição primariamente ocupada pelo Quartzo (SiO₂). Também foi detectada uma presença significativa de alumínio (Al), potássio (K) e ferro (Fe) em todas as amostras, apresentando porcentagens de massa superiores a 2%. Os teores de Fe são relacionados ao processo de silicificação dos arenitos, sendo maiores no arenito vermelho como esperado.

O potássio foi evidenciado com porcentagens de massa variando entre 3,153% e 2,171%, para as amostras grossas provindas de arenito amarelo e vermelho, respectivamente; e entre 3,488%

e 2,536% para as frações finas derivadas de arenito amarelo e vermelho, respectivamente. Os teores de K e Al elevados poderiam ser indícios das circunstâncias nas quais ocorreu a silicificação dos arenitos Botucatu, com fluxos aquecidos percolando diversas rochas da bacia do Paraná, mas há a possibilidade de serem oriundos de contaminação no processo.

Também foram detectadas quantidades reduzidas de Cobre, Estrôncio, Zircônio, Cromo, Titânio, Manganês, Enxofre, Bário, Cálcio e Ítrio. Não é possível discutir sobre a presença destes elementos, pois a planta de britagem da pedreira estudada é utilizada para beneficiar rochas derivadas de vários litotipos não presentes na região de São Carlos, como xistos, mármore e gnaisses. Portanto, estes elementos podem ser advindos de uma contaminação decorrente do beneficiamento destes outros litotipos.

3.3. Análise para aplicações na engenharia civil

3.3.1. ABNT NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação.

As Tabelas 7 a 9 apresentam comparações entre os requisitos que, de acordo com a norma ABNT NBR 7211 (2022), devem ser cumpridos pelos agregados miúdos quando utilizados em concreto e os valores obtidos para as areias britadas amarela e vermelha.

A amostra de areia britada de arenito amarelo apresenta faixas granulométricas favoráveis ao uso como agregado miúdo para concretos com cimento portland, somente excedendo o limite inferior utilizável de massa retida fina (0,15mm), tarjado de vermelho (Tabela 7).

No entanto, a amostra de areia britada de arenito vermelho excedeu os valores granulométricos inferiores das faixas 0,3 e 0,15mm e, também o valor inferior da fase de 1,18mm, tarjados de vermelho.

As inadequações das amostras levantadas por suas características granulométricas não apresentam impedimentos à sua comercialização e utilização em concretos de uso comum, pois é possível remediá-las com a mudança nos procedimentos utilizados para o peneiramento na planta de beneficiamento, retirando parte das frações finas (passa 0,15mm) de modo a retificar as porcentagens de massa que se apresentam acima dos valores máximos utilizáveis.

Tabela 7: Viabilidade das amostras para uso como agregado miúdo.

DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA, faixas em % de massa retida das amostras						
ABERTURA DA PENEIRA	LIMITES INFERIORES		LIMITES SUPERIORES		% massa retida das amostras	
	ZONA UTILIZÁVEL	ZONA ÓTIMA	ZONA ÓTIMA	ZONA UTILIZÁVEL	AC	AV
9,5mm	0	0	0	0	0	0
6,3mm	0	0	0	7	0	0
4,75mm	0	0	5	10	0	0
2,36mm	0	10	20	25	0,078	0,001
1,18mm	5	20	30	50	10,07	2,2
0,6mm	15	35	55	70	59,93	24,89
0,3mm	50	65	85	95	69,18	48,27
0,15mm	85	90	95	100	80,43	70,06

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2022) (adaptado).

Conforme apresentado na Tabela 8, é possível verificar que, de acordo com a norma ABNT NBR7211 (2022), para o caso de comercialização e uso em concretos submetidos a desgastes superficiais, as amostras analisadas (arenitos amarelo e vermelho) possuem uma porcentagem de massa de materiais finos, que passam na peneira #200 (0,075mm), fora dos limites adequados.

Para o caso de uso em concretos protegidos contra desgastes superficiais, a amostra de arenito vermelho também apresentou quantidades de finos excessivas.

Também nesse caso, a inadequação do material seria resolvida pela remoção de parte do volume das frações finas no processo de beneficiamento.

Tabela 8: Quantidade de substâncias nocivas.

DETERMINAÇÃO	QTDE MÁXIMA % MASSA	AC	AV
partículas leves	n.a	0	0
material fino que passa através da peneira 0,075mm	10 (concreto submetido a desgaste superficial)	11,88	15,57
	12 (concreto protegido do desgaste superficial)	11,88	15,57
impurezas orgânicas	n.a	0	0

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2022) (adaptado).

Conforme pode ser observado na Tabela 9, a ausência da detecção do elemento cloro na análise de fluorescência de Raios-x permite afirmar que ambas as amostras estudadas atendem os requisitos de teor de cloretos. No entanto, para todas as amostras analisadas por FRX houve detecção de enxofre, que torna necessária a realização de um ensaio de teor de sulfatos para determinar se o material se adequa aos requisitos estipulados pela norma ABNT NBR 7211 (2022).

Tabela 9: Durabilidade: Sulfatos e Cloretos.

DETERMINAÇÃO	LIMITES	AC	AV
Teor de cloretos	<0,2% p/ concreto simples	Não há presença de Cl (FRX)	
	<0,1% p/ concreto armado	Não há presença de Cl (FRX)	
	<0,01% p/ concreto protendido	Não há presença de Cl (FRX)	
Teor de sulfatos	<0,1% p/ todos os usos	Desconhecido mas há presença de S	

Fonte: NBR 7211 (ABNT, 2022) (adaptado).

3.3.2. ABNT NBR 15953: Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução

As Tabelas 10 e 11 apresentam comparações entre os requisitos que devem ser cumpridos pelos agregados miúdos quando utilizados em pavimentação intertravada e os valores obtidos para as areias britadas amarela e vermelha.

Tabela 10: Limites granulométricos para uso como camada de assentamento.

CAMADA DE ASSENTAMENTO % de massa acumulada retida				
Abertura da peneira	mínimo	máximo	AC	AV
6,3mm	0	7	0	0
4,75mm	0	10	0	0
2,36mm	0	25	0,078	0,001
1,18mm	5	50	10,07	2,2
0,6mm	15	70	59,93	24,89
0,3mm	50	95	69,18	48,27
0,15mm	90	100	80,43	70,06

Fonte: NBR 15953 (ABNT, 2011) (adaptado).

Tabela 11: Limites granulométricos para uso como rejuntamento e juntas.

MATERIAL DE REJUNTAMENTO E JUNTAS - % de massa acumulada retida				
Abertura da peneira	mínimo	máximo	AC	AV
4,75mm	0	0	0	0
2,36mm	0	25	0,078	0,001
1,18mm	5	50	10,07	2,2
0,6mm	15	70	59,93	24,89
0,3mm	50	95	69,18	48,27
0,15mm	85	100	80,43	70,06
0,075mm	90	100	88,12	84,43

Fonte: NBR 15953 (ABNT, 2011) (adaptado).

A areia britada derivada do arenito amarelo (AC) apresenta características granulométricas favoráveis à sua aplicação tanto como camada de assentamento quanto como material de rejuntamento e juntas, com exceção da porcentagem de material retido em algumas peneiras (Tabelas 10 e 11). A areia britada derivada do arenito vermelho apresenta algumas características granulométricas desfavoráveis ao seu uso, porém a diferença entre os valores observados e os valores necessários para aprovação foi relativamente pequena (Tabelas 10 e 11). Novamente para esses usos, a inadequação do material seria resolvida pela remoção de parte do volume das frações finas no processo de beneficiamento.

4. CONCLUSÕES

Em termos geotécnicos, as areias britadas são não-uniformes e bem graduadas. Apresentam comportamento bom se usadas para subleitos de estradas (classe A2-4 da H.R.B.) e quando compactadas apresentam boa resistência, são semipermeáveis e têm compressibilidade baixa (classe SM da Classificação Unificada).

Em termos de utilização das areias estudadas como material de construção civil, tanto como agregado miúdo para concretos, quanto para uso em pavimentação intertravada, suas características se encontram bem próximas daquelas requisitadas pelas normas avaliadas, necessitando uma separação granulométrica da fração fina para tal.

O uso do FRX apresenta potencialidade para indicação da presença de materiais degradantes do concreto, como sulfatos e cloretos, assim como da composição mineralógica das areias como um todo. Os resultados indicaram que não há Cl (cloro) e, portanto, não há possibilidade de presença de cloretos. Mas há S (enxofre), sendo necessário ensaio específico para verificação da presença de sulfato. Além da sílica do quartzo e do Fe (ferro) vindo das rochas básicas, as amostras apresentaram teores de K (potássio) e Al (alumínio) elevados que, apesar da possibilidade destes serem oriundos de contaminação, poderiam ser indícios das circunstâncias nas quais ocorreu a silicificação dos arenitos Botucatu. Por isso, seria recomendável para um estudo futuro realizar ensaios de FRX em amostras de arenito Botucatu sãs ou beneficiadas em um ambiente preparado de modo a garantir que não ocorra contaminação significativa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Pró-reitoria de Pesquisa, Coordenadoria de Iniciação Científica da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6458*: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água, Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 6502*: Solos e Rochas Terminologia. Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 7181*: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 7211*: Agregados para concreto-Requisitos, Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 15953*: Pavimento intertravado com peças de concreto — Execução, Rio de Janeiro, 2011.
- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR NM ISO 3310*: Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação. Parte 2: Peneiras de ensaio de chapa metálica perfurada, Rio de Janeiro, 2010.
- COELHO, A. M. D. P; MENEZES D. B. Efeito da intempérie em arenitos silicificados: estudos sobre variação de características do arenito poroso vermelho após longos períodos de intempérie, por meio da alteração química. In: 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. *Anais [...]*. São Paulo: ABGE, 2022, artigo 47, 10p. Disponível em: <https://schenautomacao.com.br/cbge2022/anais/trabalhos.php> , Acesso em 20 de março de 2025.
- MORAES, D. C. *Ensaio tecnológicos em Arenitos silicificados: estudo de aproveitamento de rejeito da extração mineral*. Relatório de Iniciação Científica, (PIBIT, CNPq), UFSCar. São Carlos, 2018.
- MORAES, D. C; PORTO A. C; MENEZES D. B; BONUCCELLI, T. J. Ensaio tecnológicos em arenitos silicificados: estudo de aproveitamento de rejeito da mineração. In: 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. *Anais [...]*. São Paulo: ABGE, 2018 artigo 139, 10p. Disponível em: <http://www.schenautomacao.com.br/cbge/anais/trabalhos.php> , Acesso em 20 de março de 2025.
- PORTILLO, E. Z. F. *Considerações sobre a caracterização tecnológica, a exploração e os usos do arenito Botucatu silicificado na região de São Carlos – SP*. Dissertação de Mestrado (Geotecnia). EESC, USP. São Carlos, SP, 1988.
- PORTO, A. C. *Sistematização de Ensaio tecnológicos para a montagem de uma litoteca de rochas ornamentais e agregados*. Relatório de Iniciação Científica, (PIBIT, CNPq), UFSCar. São Carlos, SP, 2016.
- SOUZA PINTO, C. *Curso básico de mecânica dos solos*. 3 ed. Editora de Textos. São Paulo, 2006.