

Interessado: Samarco Mineração Ltda.

Endereço: Rodovia do Sol ES 060, s/nº – Anchieta/ES

Referência: Pedido de compra nº 4500134056

Amostra nº: 168261

Data de entrada: 28.06.13

Material declarado: Rejeito de mineração

Período de realização dos ensaios: 28.06.13 a 27.08.13

Objetivo: Contribuir com subsídios técnicos para o aproveitamento de rejeito de mineração como agregado miúdo para concreto.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios de determinação da composição química, mineralógica, física e qualidade ambiental de uma amostra de rejeito de mineração.

Os ensaios foram realizados com o objetivo de fornecer subsídios técnicos para o aproveitamento do rejeito de mineração como agregado miúdo para concreto. A amostra coletada e enviada pelo interessado recebeu as seguintes identificações:

ABCP	Interessado
168261	Rejeito de mineração

2. MÉTODOS DE ENSAIO E DOCUMENTOS REFERENCIADOS

NBR 5733/91	– Cimento Portland de alta resistência inicial
NBR 7211/09	– Agregado para concreto – Especificação
NBR 7218/10	– Agregados - Determinação do teor de argilas em torrões e materiais friáveis
NBR 7389-1/09	– Análise petrográfica de agregado para concreto - Parte 1: Agregado Miúdo
NBR 9917/09	– Agregados para concreto - Determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis
NBR 10004/04	– Resíduos Sólidos - Classificação
NBR 10005/04	– Procedimento para obtenção do extrato lixiviado de resíduos sólidos
NBR 10006/04	– Procedimento para obtenção do extrato solubilizado de resíduos sólidos

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



NBR 15577-1/08	- Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto
NBR 15577-3/08	- Agregados – Reatividade álcali-agregado. Parte 3: Análise petrográfica para verificação da potencialidade reativa de agregados em presença de álcalis do concreto
NBR 15577-4/08	- Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado
NBR NM 30/01	- Agregado miúdo - Determinação da absorção de água
NBR NM 45/06	- Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios
NBR NM 46/03	- Agregados - Determinação do teor de material fino que passa através da peneira # 75µm
NBR NM 49/01	- Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas.
NBR NM 52/03	- Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente
NBR NM 248/03	- Agregados - Determinação da composição granulométrica
ASTM C 151/09	- Standard Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement
USA EPA 8260C	- Volatile Organic Compounds by Gás Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)
USA EPA 8270D	- Semivolatile Organic Compounds by Gás Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)
CETESB L5/125	- Determinação de fenóis
PO-GT-3003 - rev 01	- Determinação dos óxidos de sódio e potássio
PO-GT-3006 - rev 02	- Determinação de anidrido sulfúrico
PO-GT-3012 - rev 02	- Determinação de cloretos pelo método do íon seletivo
PO-GT-3013 - rev 01	- Determinação de fluoretos pelo método do íon seletivo
PO-GT-3051 - rev 01	- Análise química de cinza volante por complexometria
PO-GT 5042 - rev 00	- Análise por Difractometria de Raios X
PO-GT-6021 - rev 02	- Espectrometria de absorção atômica. Determinação de elementos por chama
PO-GT-6022 - rev 03	- Espectrometria de absorção atômica. Determinação de elementos por forno de grafite
PO-GT-6023 - rev 03	- Espectrometria de absorção atômica. Determinação de elementos por gerador de hidretos



3. RESULTADOS

3.1. Caracterização Mineralógica

3.1.1. Difratometria de raios X

Com base no difratograma (*Figura 1*), obtido com a amostra de rejeito de mineração *in natura*, caracterizaram-se os compostos mineralógicos cristalizados constantes no *Quadro 1*.

QUADRO 1 – Compostos mineralógicos

Minerais	Quimismo Aproximado	Distância Interplanar Principal(Å)	Frequência Relativa
Quartzo	SiO ₂	3,36	++++
Hematita	Fe ₂ O ₃	2,69	+

Simbologia: nd = não detectado
tr = traços
+ = presente
++ = pouco frequente
+++ = frequente
++++ = muito frequente

NOTA: ○ A avaliação semiquantitativa das fases (expressa em número de asteriscos) está fundamentada na altura dos picos de difração, cuja intensidade é função do teor, da simetria e do grau de cristalinidade do constituinte

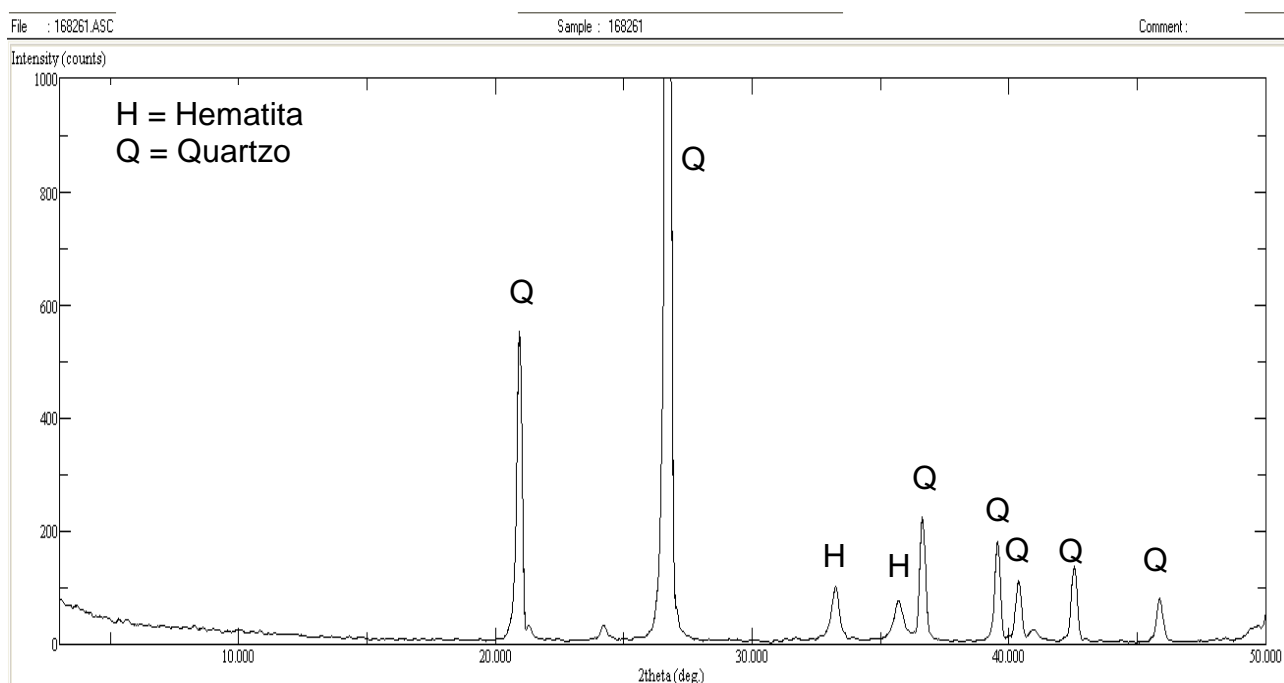


FIGURA 1 – Gráfico de difratometria de raios X da amostra de rejeito de mineração



3.1.2. Análise Petrográfica

A análise petrográfica foi realizada com objetivo de avaliar a qualidade do rejeito de mineração como agregado para concreto do ponto de vista mineralógico.

A avaliação das características petrográficas realizada ao microscópio estereoscópico (lupa) de luz refletida foi determinada na amostra somente após o peneiramento a úmido, em malha de 0,15 mm. Os resultados obtidos estão sintetizados no *Quadro 2*.

QUADRO 2 - Síntese das características gerais da amostra de rejeito de mineração

Mineralogia	Principal	Quartzo
	Subordinada	Opacos
	Deletéria	Não observada
Cor		Cinza
Grau de arredondamento		Subanguloso a anguloso
Grau de esfericidade		Baixo
Superfície dos grãos		Rugosa
Alteração		Não alterado a sã

3.1.3. Composição mineralógica

Primeiramente, a amostra foi peneirada e separada em frações granulométricas, sendo então lavada para melhor observação microscópica. Cada uma destas frações foi analisada ao microscópio estereoscópico para uma avaliação de sua mineralogia, realizando-se uma contagem simples de 500 grãos, para frações com representatividade $\geq 15\%$. Os resultados são apresentados na *Tabela 1*.

TABELA 1 – Composição Mineralógica (% de número de grãos)

Fração (mm)	Fração %	Inócuos				Potencialmente deletério		Friáveis	
		Quartzo	Feldspato	Fragmento de Rocha	Outros	Calcedônia/Sílex	Quartzo Microcrist.	Agregados Limoníticos e Argilosos	Mica
0,6 – 0,3	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-
0,3 – 0,15	13,6	100,0	-	-	-	-	-	-	-
< 0,15	86,2	99,4	-	-	0,6	-	-	-	-



3.2. Análise Química

A Tabela 2 apresenta os resultados das análises químicas realizadas na amostra de rejeito de mineração.

TABELA 2 – Análise química da amostra de rejeito de mineração

Ensaio	Resultados (% em massa na base seca)
Perda ao fogo – PF	0,43
Dióxido de silício – SiO ₂	88,68
Óxido de alumínio – Al ₂ O ₃	0,34
Óxido de ferro – Fe ₂ O ₃	9,46
Óxido de cálcio – CaO	0,55
Óxido de magnésio – MgO	0,07
Anidrido Sulfúrico – SO ₃	0,08
Óxido de sódio – Na ₂ O	0,02
Óxido de potássio – K ₂ O	0,01

3.2.1. Determinação de sais solúveis

A Tabela 3 apresenta os resultados de determinação de sais solúveis da amostra de rejeito de mineração.

TABELA 3 – Determinação de sais solúveis (% em massa)

Composição Química	Resultados	Limites da NBR 7211/09	
Sais solúveis	0,21	-	
Sulfatos solúveis (SO ₄ ²⁻)	0,002	< 0,1%	
Cloreto (Cl ⁻)	0,002 (20 mg/L)	< 0,2%	Concreto simples
		< 0,1%	Concreto armado
		< 0,01%	Concreto protendido

3.2.2. Determinação de impurezas orgânicas

A Foto 1 ilustra o ensaio da determinação de impurezas orgânicas da amostra de rejeito de mineração. A solução em contato com o agregado sendo mais escura que a solução padrão indica a presença de matéria orgânica acima de 300ppm.



Foto 1 - Ensaio comparativo de impurezas orgânicas. A amostra de rejeito de mineração apresentou solução mais clara que a solução padrão, indicando ausência de impurezas orgânicas no material.



3.3. Lixiviação

Os extratos lixiviados foram obtidos de acordo com o preconizado pela NBR 10005/04.

3.3.1. Inorgânicos no extrato lixiviado

A *Tabela 4* apresenta os resultados dos constituintes inorgânicos lixiviados da amostra de rejeito de mineração.

TABELA 4 – Teor de constituintes inorgânicos lixiviados

Constituinte		Unidade	Resultados	Limites (mg/L)	
				Limites de Quantificação	NBR 10004 (máximo)
Prata	(Ag)	(mg/L)	N.D.	0,025	5,0
Arsênio	(As)	(mg/L)	N.D.	0,025	1,0
Bário	(Ba)	(mg/L)	N.D.	0,010	70,0
Cádmio	(Cd)	(mg/L)	N.D.	0,003	0,5
Cromo	(Cr)	(mg/L)	N.D.	0,010	5,0
Chumbo	(Pb)	(mg/L)	N.D.	0,010	1,0
Selênio	(Se)	(mg/L)	N.D.	0,025	1,0
Mercúrio	(Hg)	(mg/L)	N.D.	0,0002	0,1
Fluoreto	(F ⁻)	(mg/L)	N.D.	0,02	150,0
pH	-	-	4,92	-	-

N.D. = não detectado; significa que os teores estão abaixo do limite de quantificação



3.3.2. Orgânicos no extrato lixiviado

A Tabela 5 apresenta os resultados dos constituintes orgânicos lixiviados de amostra de rejeito de mineração ensaiada por laboratório qualificado pela ABCP.

TABELA 5 – Teor de constituintes orgânicos lixiviados

Constituinte	Unidade	Resultados	Limites (mg/L)	
			Limite de quantificação	NBR 10004/04 (máximo)
Aldrin + Dieldrin	mg/L	N.D.	0,00006	0,003
Clordano (isômeros)	mg/L	N.D.	0,00006	0,02
DDT(isômeros)	mg/L	N.D.	0,00009	0,2
2,4-D	mg/L	N.D.	0,0015	3,0
Endrin	mg/L	N.D.	0,0003	0,06
Heptacloro e Heptacloro epóxido	mg/L	N.D.	0,00006	0,003
Lindano (g-BHC)	mg/L	N.D.	0,0003	0,2
Metoxicloro	mg/L	N.D.	0,00003	2,0
Pentaclorofenol	mg/L	N.D.	0,0015	0,9
Toxafeno	mg/L	N.D.	0,000375	0,5
2,4,5-T	mg/L	N.D.	0,0015	0,2
2,4,5-TP	mg/L	N.D.	0,0015	1,0
Benzeno	mg/L	N.D.	0,0030	0,5
Benzo(a)pireno	mg/L	N.D.	0,0015	0,07
Cloreto de vinila	mg/L	N.D.	0,0030	0,5
Clorobenzeno	mg/L	N.D.	0,0030	100
Clorofórmio	mg/L	N.D.	0,0030	6,0
o-cresol	mg/L	N.D.	0,0015	200,0
m,p-cresol	mg/L	N.D.	0,0015	200,0
1,4-diclorobenzeno	mg/L	N.D.	0,0015	7,5
1,2-dicloroetano	mg/L	N.D.	0,0030	1,0
1,1-dicloroetano	mg/L	N.D.	0,0030	3,0
2,4-dinitrotolueno	mg/L	N.D.	0,0015	0,13
Hexaclorobenzeno	mg/L	N.D.	0,0015	0,1
Hexaclorobutadieno	mg/L	N.D.	0,0015	0,5
Hexacloroetano	mg/L	N.D.	0,0015	3,0
Metiletilcetona	mg/L	N.D.	0,009	200,0
Nitrobenzeno	mg/L	N.D.	0,0015	2,0
Piridina	mg/L	1,13	0,0015	5,0
Tetracloreto de carbono	mg/L	N.D.	0,0030	0,2
Tetracloroetano	mg/L	N.D.	0,0030	4,0
Tricloroetano	mg/L	N.D.	0,0030	7,0
2,4,5-triclorofenol	mg/L	N.D.	0,0015	400,0
2,4,6-triclorofenol	mg/L	N.D.	0,0015	20,0

N.D. – Não detectado; significa que os teores estão abaixo do limite de quantificação

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



3.4. Solubilização

Os extratos solubilizados foram obtidos de acordo com o preconizado pela NBR 10006/04.

3.4.1. Inorgânicos no extrato solubilizado

A *Tabela 6* apresenta os resultados dos ensaios de determinação de constituintes inorgânicos solubilizados da amostra de rejeito de mineração, ensaios realizados por laboratório qualificado pela ABCP.

TABELA 6 – Teor de constituintes inorgânicos solubilizados

Constituinte			Resultados	Limite de Quantificação (mg/L)	NBR 10004/04 (mg/L)
Prata	(Ag)	(mg/L)	N.D.	0,010	0,05
Alumínio	(Al)	(mg/L)	N.D.	0,010	0,2
Arsênio	(As)	(mg/L)	N.D.	0,008	0,01
Bário	(Ba)	(mg/L)	N.D.	0,010	0,7
Cádmio	(Cd)	(mg/L)	N.D.	0,003	0,005
Cromo	(Cr)	(mg/L)	N.D.	0,010	0,05
Cobre	(Cu)	(mg/L)	N.D.	0,010	2,0
Ferro	(Fe)	(mg/L)	0,027	0,010	0,3
Manganês	(Mn)	(mg/L)	0,008	0,005	0,1
Chumbo	(Pb)	(mg/L)	N.D.	0,007	0,01
Selênio	(Se)	(mg/L)	N.D.	0,008	0,01
Zinco	(Zn)	(mg/L)	N.D.	0,003	5,0
Mercúrio	(Hg)	(mg/L)	N.D.	0,0002	0,001
Sódio	(Na)	(mg/L)	1,85	0,060	200,0
Sulfatos	(SO ₄) ²⁻	(mg/L)	1,85	0,5	250,0
Nitratos	(N)	(mg/L)	0,89	0,5	10,0
Cloretos	(Cl ⁻)	(mg/L)	0,24	0,05	250,0
Fluoretos	(F ⁻)	(mg/L)	N.D.	0,02	1,5
Cianetos	(CN ⁻)	(mg/L)	N.D.	0,05	0,07
Fenóis	-	(mg/L)	N.D.	0,01	0,01
pH	-	-	6,28	-	-

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



3.4.2. Orgânicos no extrato solubilizado

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de determinação de constituintes orgânicos solubilizados da amostra de rejeito de mineração, ensaios realizados por laboratório qualificado pela ABCP.

TABELA 7 – Teor de constituintes orgânicos solubilizados

Constituinte	Unidade	Resultados	Limites (mg/L)	
			Limite de quantificação	NBR 10004/04 (máximo)
Aldrin + Dieldrin	mg/L	N.D.	0,00006	0,00003
Clordano (isômeros)	mg/L	N.D.	0,00006	0,0002
DDT (isômeros)	mg/L	N.D.	0,00009	0,002
2,4-D	mg/L	N.D.	0,0009	0,03
Endrin	mg/L	N.D.	0,00003	0,0006
Heptacloro + Heptacloro epóxido	mg/L	N.D.	0,00006	0,00003
Lindano (g-BHC)	mg/L	N.D.	0,00003	0,002
Metoxicloro	mg/L	N.D.	0,00003	0,02
Toxafeno	mg/L	N.D.	0,000375	0,005
2,4,5-T	mg/L	N.D.	0,0009	0,002
2,4,5-TP	mg/L	N.D.	0,0009	0,030
Hexaclorobenzeno	mg/L	N.D.	0,0009	0,001
Surfactantes	mg/L	0,132	0,1	5,0

N.D. = não detectado; significa que os teores estão abaixo do limite de quantificação



3.5. Determinação da Composição Granulométrica

A *Tabela 8* apresenta os resultados dos ensaios de granulometria da amostra de rejeito de mineração.

TABELA 8 – Composição granulométrica

Peneira ABNT Abertura nominal (mm)	Porcentagem retida, em massa	
	Individual	Acumulada
0,6	0,0	0
0,3	0,2	0
0,15	13,6	14
<0,15	86,2	100
Total	100,0	114
Dimensão máxima característica (mm)	0,3	
Módulo de finura	0,14	

3.6. Caracterização Física

A *Tabela 9* apresenta os resultados dos ensaios de caracterização física da amostra de rejeito de mineração.

TABELA 9 – Caracterização física da amostra

Ensaio		Resultados	Limites da NBR 7211/09
Absorção (%)		0,40	-
Teor de material que passa através # 75µm (%)		33,7	≤ 5,0
Teor de argilas em torrões (%)		(*)	
Massa unitária no estado solto (kg/dm ³)		1,64	-
Massa específica (g/cm ³)	Aparente	2,58	-
	Superfície Saturada Seca	2,59	-
	Real	2,61	-

(*) Amostra de rejeito de mineração não apresenta fração granulométrica acima de 1,18mm



3.7. Reação Álcali-Agregado

A determinação da reatividade álcali-agregado foi realizada pelo método preconizado pela NBR 15577 parte 4, que é indicado para avaliar a reatividade de agregados frente a uma solução alcalina de hidróxido de sódio, através da monitorização das expansões dimensionais de barras de argamassa, utilizando-se no ensaio um cimento padrão comprovadamente não inibidor da reação álcali-agregado.

3.7.1. Dosagem da argamassa

A *Tabela 10* apresenta a composição dos materiais requerida para a preparação de três barras de argamassa. A amostra de rejeito de mineração foi analisada conforme recebida por não atender a granulometria recomendada pela norma (*Tabela 10*).

TABELA 10 – Composição dos materiais

Abertura nominal das peneiras (mm)		Massa (g)
Agregado	4,8 - 2,4	99,0
	2,4 - 1,2	247,5
	1,2 - 0,6	247,5
	0,6 - 0,3	247,5
	0,3 - 0,15	148,5
Cimento padrão		440,0
Água destilada (a/c = 0,47)		206,8

3.7.2. Cimento padrão

O cimento padrão utilizado é do tipo CP V-ARI e obedece integralmente às especificações da NBR 5733, cujas exigências adicionais da norma NBR 15577-4 estão registradas na *Tabela 11*.

TABELA 11 – Características do cimento padrão

Propriedade	Método de ensaio	Resultado	Especificação da NBR 15577-4
Óxido de sódio (Na ₂ O)	NBR NM 17	0,30 %	-
Óxido de potássio (K ₂ O)	NBR NM 17	0,82 %	-
Equivalente alcalino em Na ₂ O*	-	0,84 %	(0,90 ± 0,10) %
Área específica Blaine	NBR NM 76	4870 cm²/g	(4900 ± 200) cm ² /g
Expansibilidade em autoclave	ASTM C 151	0,08 %	< 0,20 %

(*) Equivalente alcalino em Na₂O → Na₂Oeq = 0,658 %K₂O + %Na₂O

Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



3.7.3. Resultados

A *Tabela 12* apresenta os resultados dos ensaios realizados, destacando-se os valores aos 14 e 28 dias. A *Figura 2* ilustra a evolução das expansões médias das barras de argamassa com o tempo de cura.

TABELA 12 - Variação dimensional das barras de argamassa em solução alcalina

Idade de Cura agressiva (dias) ^(*)	Variações dimensionais médias (%)
1	-
2	-
3	-
4	-
5	0,02
6	-
7	0,02
8	-
9	-
10	0,02
11	-
12	0,02
13	-
14	0,03
15	-
16	-
17	0,03
18	-
19	0,04
20	-
21	0,04
22	-
23	-
24	0,04
25	-
26	0,04
27	-
28	0,04

- = leitura não realizada

(*) Para conhecer a idade do ensaio desde a moldagem acrescentar 2 dias

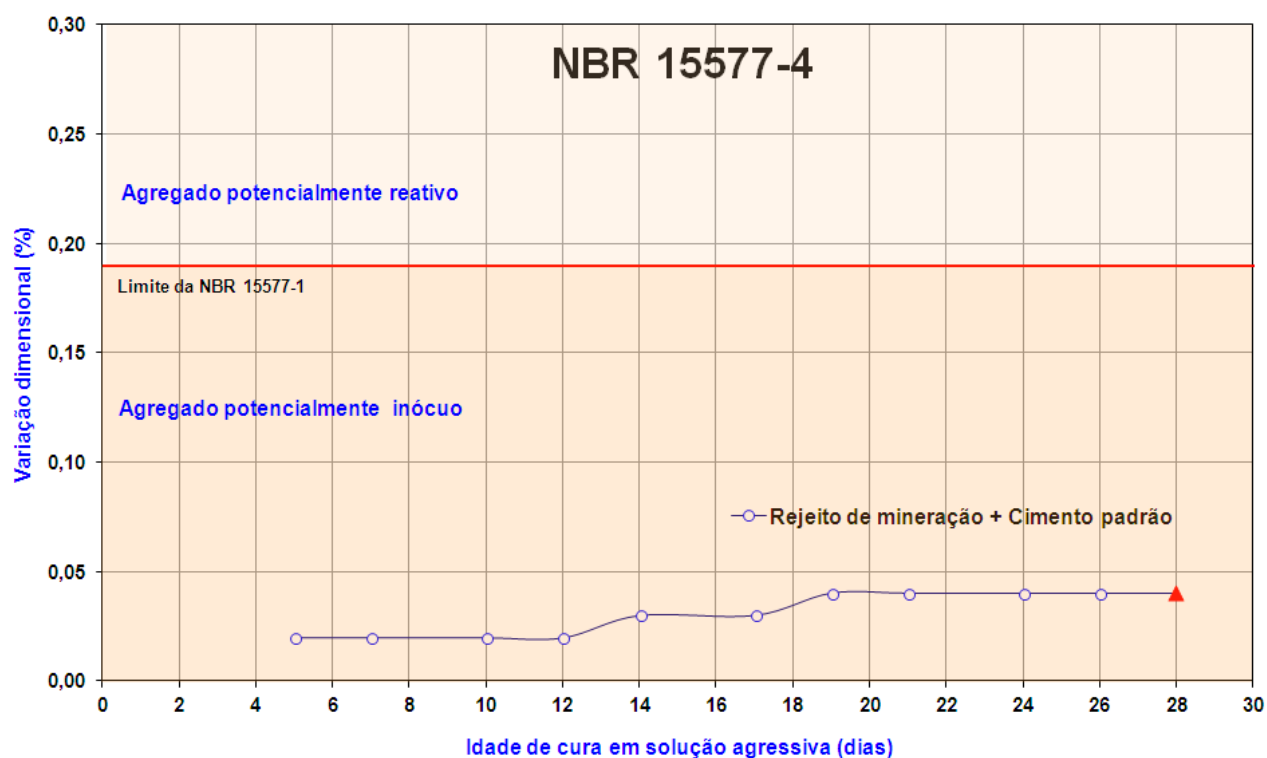


FIGURA 2 - Gráfico da evolução da expansão com o tempo de cura em solução alcalina

De acordo com a norma ABNT NBR 15577-1, quando o resultado do ensaio acelerado pela ABNT NBR 15577-4 indicar expansão menor que 0,19% aos 30 dias (28 dias de cura em solução alcalina) o agregado é considerado potencialmente inócuo para uso em concreto. Expansão maior ou igual a 0,19% indica que o agregado é potencialmente reativo.

De acordo com os resultados apresentados, observa-se que o valor médio de expansão das barras de argamassa aos 28 dias de cura em solução alcalina da amostra de **rejeito de mineração** foi de 0,04%, indicando que o agregado é **potencialmente inócuo** segundo os critérios estabelecidos.



4. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1. Composição Mineralógica

A amostra de rejeito de mineração é constituída essencialmente por quartzo e, secundariamente, por hematita. A análise petrográfica revelou que os grãos de quartzo são subanguloso a anguloso e apresentam baixa esfericidade e superfície rugosa. Foram observados grãos opacos na fração < 0,15 mm, relacionados à presença de hematita no material.

Petrograficamente, a amostra foi considerada **potencialmente inócua**, com relação a sua reatividade frente aos álcalis do concreto, o que foi confirmado pelo ensaio acelerado em barras de argamassa pela ABNT NBR 15577-4.

4.2. Composição Química

A amostra de rejeito de mineração é constituída essencialmente por SiO₂ (88,68%) e, secundariamente, por Fe₂O₃ (9,46%). Os teores de sais solúveis, sulfatos solúveis e cloretos encontram-se bem abaixo dos valores prescritos pela NBR 7211/09. A amostra não apresenta matéria orgânica na sua composição.

4.3. Ensaio de Qualidade Ambiental

Os ensaios de lixiviação de metais (inorgânicos) apresentaram resultados com valores abaixo dos limites máximos prescritos pela NBR 10004/04.

Os ensaios de solubilização (inorgânicos) apresentaram teores de constituintes solubilizados abaixo dos limites máximos prescritos pela NBR 10004/04.

Os ensaios de lixiviação e solubilização de orgânicos voláteis e semivoláteis apresentaram resultados nulos, ou seja, abaixo dos limites de detecção da técnica adotada e abaixo dos limites máximos prescritos pela NBR 10004/04.

A amostra de rejeito de mineração pode ser classificada de **Classe II B – Não Perigoso Inerte**, de acordo com a NBR 10004-04.

4.4. Características Físicas

A amostra de rejeito de mineração apresentou dimensão máxima característica de 0,3 mm e módulo de finura de 0,14, indicando tratar-se de um material muito fino. A análise granulométrica revelou que o material encontra-se abaixo de 0,3 mm e 86,2% abaixo de 0,15 mm. O teor de material fino que passa através da peneira # 75µm é de 33,7%.


Este documento tem significação restrita e diz respeito tão somente à(s) amostra(s) ensaiada(s). Sua reprodução só poderá ser total e depende da aprovação formal deste Laboratório.



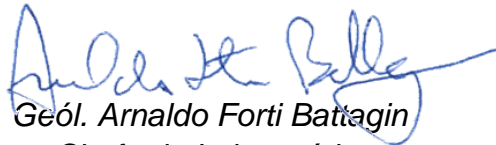
5. CONCLUSÕES

Do ponto de vista ambiental, químico, mineralógico e físico a amostra de rejeito de mineração não apresenta restrições ao uso como agregado miúdo para concreto, exceto pela distribuição granulométrica, característica que não recomenda seu uso para essa finalidade.

Em vista das características apresentadas, seu uso parece promissor como agregado miúdo para argamassas industrializadas, recomendando-se a realização de estudo específico para essa finalidade.


Eng. Flávio André da Cunha Munhoz
Supervisor Laboratório de Cimento

São Paulo, 03 de setembro de 2013.


Geól. Arnaldo Forti Battagin
Chefe do Laboratório
CREA nº 0600586647