

SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS NATURAIS POR RESÍDUO ARENOSO GERADO NO BENEFICIAMENTO DO ITABIRITO EM ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND

Melo, V.A.R.^(1,2); Freire, C.B.*^(1,3); Pereira Junior, S.S.⁽³⁾; Lameiras, F.S.⁽³⁾; Tello, C.C.O.⁽³⁾

⁽¹⁾ REDEMAT; ⁽²⁾ DNPM; ⁽³⁾ CDTN

* Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – Av. Pres. Antônio Carlos, 6.627, Campus da UFMG - CEP 31270-901 - Belo Horizonte/MG. cbf@cdtn.br

RESUMO

Os agregados miúdos naturais são materiais utilizados na construção civil para a preparação de argamassas e concretos. Em função das restrições legais impostas à sua extração, tem-se buscado meios para substituí-los. Como alternativa, é proposto o emprego do resíduo arenoso gerado no beneficiamento do itabirito. O beneficiamento do itabirito requer sua moagem e flotação para concentrar os óxidos de ferro. Nesse processo são geradas grandes quantidades do resíduo arenoso, constituído por quartzo e óxidos de ferro. Visando ao seu aproveitamento e à redução do consumo de agregados miúdos naturais, o resíduo arenoso foi caracterizado quanto à composição mineralógica, distribuição granulométrica, presença de impurezas orgânicas e forma das partículas, para avaliar a possibilidade de substituir os agregados miúdos naturais. Foram preparadas formulações de argamassa variando o tipo de cimento, o traço e a relação água/cimento (a/c). São apresentados os resultados de viscosidade e densidade da pasta, tempo de pega e resistência à compressão. Resistências de até 19,5MPa aos 28 dias são alcançadas com a utilização de cimento CPV, a/c 0,80 e traço 1:2. Os resultados comprovam a possibilidade de utilização desse resíduo como agregado miúdo.

Palavras-chave: resíduo, produtos cimentícios, agregados.

INTRODUÇÃO

Os agregados utilizados na construção civil são definidos como o material granular que não reage quimicamente com a água que apresenta dimensões e propriedades adequadas para o uso em concretos e argamassas¹. Constituem cerca de $\frac{3}{4}$ do volume do concreto, portanto, suas características e qualidade podem influenciar diretamente as propriedades do concreto. São compostos importantes com grande influência sobre os custos dos produtos cimentícios devido ao seu baixo custo e à sua alta proporção na massa⁽¹⁾.

Os agregados são classificados conforme a dimensão das partículas em agregado graúdo e agregado miúdo. De acordo com a norma ABNT NBR 7211:2009, os agregados graúdos são agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm e os agregados miúdos são agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm, ressalvados os limites de distribuição granulométrica estabelecidos na referida norma⁽²⁾.

O principal agregado miúdo utilizado na construção civil é a areia natural, extraída de leito de rios, várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos. No Brasil, cerca 90% da areia utilizada é extraída em leito de rios. Diversas restrições legais à extração desse material vêm sendo impostas devido ao impacto ambiental gerado pela atividade. Nesse contexto, muitos trabalhos^(3, 4, 5) propõem a substituição de agregados miúdos naturais por outros materiais com a finalidade de diminuir os impactos gerados pela extração da areia e reaproveitar resíduos gerados em outros segmentos. Neste trabalho é proposta a substituição de agregados miúdos naturais pelo resíduo arenoso gerado no beneficiamento do itabirito.

O itabirito é uma rocha metamórfica caracterizada pela alternância de camadas de espessura centimétrica ou milimétrica constituídas por quartzo (bandas claras) e óxidos de ferro (bandas escuras)⁽⁶⁾. Ocorre em grandes extensões no Brasil e é explorado como minério de ferro. Seu beneficiamento para concentração dos óxidos de ferro requer britagem, moagem, deslamagem, flotação convencional (mecânica), remoagem, flotação em coluna e transporte da polpa de concentrado obtido até o local onde ocorre filtração da polpa, pelotamento e queima das pelotas⁽⁷⁾.

No decorrer desse beneficiamento mineral são gerados dois resíduos principais: o resíduo argiloso e o resíduo arenoso, que são depositados na barragem de rejeitos ou utilizados para preenchimento de cavas de mineração. O resíduo arenoso é gerado na etapa de flotação convencional, apresenta aspecto arenoso, granulometria em torno de 0,149mm (100Mesh), constituído por 80 a 90% de sílica, 10 a 15% de óxidos de ferro e menos de 3% de silicatos remanescentes. Em média, 35% da massa do minério beneficiado corresponde a esses resíduos, sendo que 1/3 corresponde ao resíduo gerado na flotação em coluna e os demais 2/3 são gerados na flotação convencional⁽⁸⁾.

Conforme a classificação proposta na ABNT NBR 10004⁽⁹⁾, o resíduo arenoso é classificado como inerte/não perigoso (classe IIB) e tem capacidade de retenção de metais pesados⁽¹⁰⁾, entretanto a geração de grandes quantidades diárias o torna um resíduo de difícil destinação. A disposição em barragens requer altos investimentos para a construção e manutenção.

O resíduo arenoso tem características físicas e químicas muito uniformes e é produzido em grandes quantidades. A uniformidade das suas características e a grande disponibilidade confere a esse subproduto grande potencialidade para emprego como matéria-prima para diversos segmentos industriais.

Estuda-se a possibilidade de aproveitamento do resíduo arenoso como agregado miúdo para preparação de artefatos de argamassas de cimento Portland. Sua utilização em substituição à areia de construção tem como principal empecilho a sua fina granulometria.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental foi dividido em duas etapas. A primeira consistiu na caracterização do resíduo arenoso e a segunda consistiu na preparação de argamassas de cimento Portland de diferentes composições e na sua caracterização.

As amostras de resíduo arenoso utilizadas neste trabalho foram coletas e cedidas pela Samarco Mineração SA. As amostras foram homogeneizadas pela técnica da pilha alongada e armazenadas em frações de cerca de 6kg.

A composição mineralógica do resíduo arenoso foi determinada por difração de raios X, aplicando o método do pó. Foi utilizado um difratômetro Rigaku, modelo e sistema D\MAX ULTIMA automático. Foi utilizado o banco de dados da ICDD – International Center for Diffraction Data para identificação das fases mineralógicas.

A presença de impurezas orgânicas foi analisada por espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) utilizando aparelho ABB Bomem, modelo MB 102 e resolução de 4cm^{-1} .

A composição granulométrica foi determinada de acordo com o procedimento recomendado na NBR NM 248:2003⁽¹¹⁾, entretanto, foi necessário utilizar um conjunto de peneiras complementar. Foram utilizadas peneiras da série Tyler, com as aberturas $420\mu\text{m}$, $297\mu\text{m}$, $210\mu\text{m}$, $177\mu\text{m}$, $149\mu\text{m}$, $105\mu\text{m}$, $71\mu\text{m}$, $53\mu\text{m}$, $44\mu\text{m}$ e $37\mu\text{m}$. A amostra foi classificada a seco em peneirador automático Retsch, modelo AS 200. A forma das partículas foi analisada em lupa, com aumento de 50 vezes, conforme recomendações da NBR7389-1:2009⁽¹²⁾.

Para preparação da argamassa foram utilizados os cimentos comerciais Holcim CII E32 e CPV ARI, água potável fornecida através da rede de abastecimento de Belo Horizonte, fluidificante SIKA Viscocrete 20 HE e resíduo arenoso.

Foram preparadas oito composições de argamassa variando o tipo de cimento, o traço e a relação a/c. Em todos os experimentos foi empregado fluidificante na proporção de 0,6% em relação à massa de cimento. Na Tabela 1 são apresentadas as composições das argamassas preparadas.

Tabela 1 – Composição das argamassas preparadas seguindo planejamento fatorial

Composição	Tipo de cimento	Traço*	a/c**
1	CII	1:2	0,75
2			0,80
3		1:2,5	0,75
4			0,80
5	CPV	1:2	0,75
6			0,80
7		1:2,5	0,75
8			0,80

* relação entre o volume de cimento e o volume de resíduo arenoso; ** relação entre a massa de água e a massa de cimento

Imediatamente após o amassamento, amostras da argamassa fresca foram coletadas para medida do tempo de pega, viscosidade e densidade da argamassa. O tempo de pega foi determinado em medidor de tempo de pega automático Resistance Machine Unificate, modelo M-23 programado para fazer uma medida a cada 15 minutos. A viscosidade foi medida em Viscosímetro, marca Bookfield, modelo RVT conforme Rotina Técnica do LABCIM⁽¹³⁾.

Os corpos de prova foram moldados manualmente conforme recomendações da NBR 5738:2003⁽¹⁴⁾ em moldes de aço padronizados com 5cm de diâmetro e 10cm de altura. A resistência à compressão dos corpos de prova aos 7 e 28 dias foi medida utilizando uma prensa EMIC, modelo PCI 150 seguindo procedimento recomendado na NBR 5739:2007⁽¹⁵⁾. A absorção de água foi determinada conforme recomendações da NBR 9778:2005⁽¹⁶⁾.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resíduo arenoso tem o aspecto de uma areia muito fina, de coloração cinza. A manipulação dá a sensação de areia, porém ela deixa uma camada mais escura nas mãos. Quando seco apresenta alta escoabilidade.

Resultados obtidos por difração de raios x revelam que o resíduo arenoso é constituído pelas fases hematita, goethita e quartzo. Na Tabela 2, são apresentadas as proporções entre as fases estimadas com base nas intensidades relativas dos principais picos de difração.

Tabela 2 – Proporção das fases presentes no resíduo arenoso

Teor relativo das fases			
Fases	Hematita	Goethita	Quartzo
Teor	<20%	<5%	>80%

Predomina no resíduo arenoso a fase quartzo e além deste, estão presentes fases de baixa reatividade com a água e que, portanto, não sofrem reações de hidratação e não causam interferência na hidratação do cimento.

Não há bandas indicativas de grupos N-H no espectro na região do infravermelho da amostra, esperadas caso a amina utilizada para flotação não fosse eliminada com eficiência nos processos de tratamentos do resíduo realizados para destinação final. Também não são observadas bandas indicando a presença de outros compostos orgânicos, então pode-se afirmar que não há contaminantes orgânicos em quantidade suficiente para causar efeitos deletérios associados ao emprego desse resíduo para a preparação de artefatos com cimento Portland.

O resíduo arenoso apresenta granulometria mais fina que os agregados miúdos tipicamente utilizados na construção civil. A dimensão máxima característica e o módulo de finura, determinados conforme NBR NM 248:2003⁽¹¹⁾, do resíduo

arenoso são $420\mu\text{m}$ e $0,40$ respectivamente. A curva granulométrica do resíduo arenoso, apresentada na Figura 1, revela que esse material não se enquadra nos intervalos de distribuição granulométrica utilizável para agregados miúdos estabelecida pela NBR 7211:2009⁽²⁾. Além disso, o resíduo arenoso apresenta módulo de finura menor que a zona utilizável inferior, de $1,55$ a $2,20$ ⁽²⁾. Portanto, o resíduo arenoso não atende às especificações de distribuição granulométrica estabelecidas na NBR 7211:2009⁽²⁾ para ser usado como agregado miúdo, então, estudos de dosagem são necessários para validar sua aplicabilidade.

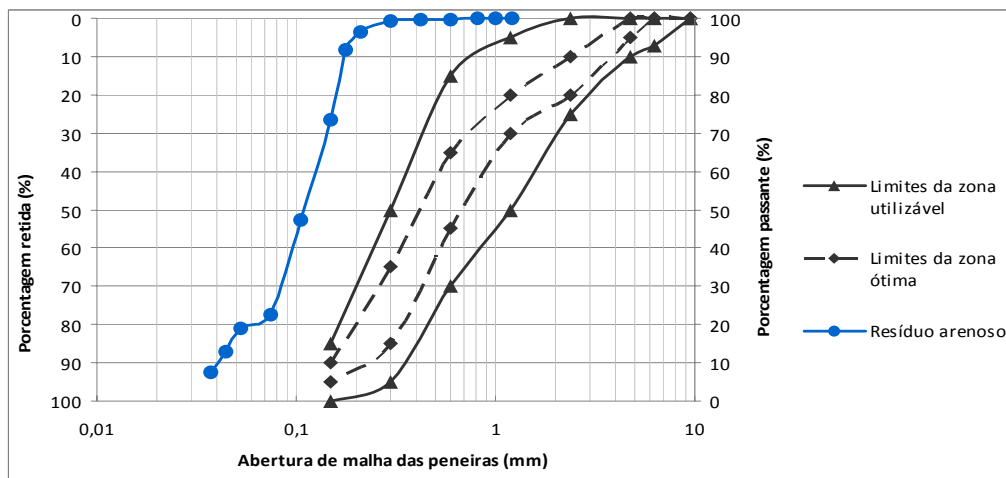


Figura 1 – Curvas granulométricas do resíduo arenoso e dos limites de distribuição granulométrica estabelecidos na NBR 7211:2009⁽²⁾

A análise petrográfica do resíduo arenoso revela que os grãos são constituídos predominantemente por quartzo e hematita, não apresentam revestimento e apresentam alto grau de esfericidade, grau de arredondamento predominantemente subanguloso e superfície predominantemente lisa.

A caracterização do resíduo arenoso revela que esse material apresenta características favoráveis a seu emprego como agregado miúdo em artefatos de cimento, tais como ausência de materiais deletérios, alta disponibilidade e alta uniformidade. Entretanto, apresenta como desvantagem sua baixa granulometria, expressa em termos do seu baixo módulo de finura e da sua baixa dimensão máxima característica. A baixa granulometria associada às características de forma do agregado determinam que o resíduo arenoso requer maior quantidade de água para o preparo da argamassa que os agregados tradicionalmente utilizados. Sendo assim, ao aumentar o consumo de água é necessário empregar também maior quantidade de cimento para obter resistências equivalentes. Portanto, as

características físicas do resíduo arenoso determinam que para obter massas de boa trabalhabilidade e peças de alta resistência à compressão é necessário trabalhar com altas relações a/c e traço com quantidade limitada de agregado além de empregar um aditivo redutor de água. Devido a esses fatores, este trabalho limitou-se ao estudo dos traços 1:2 e 1:2,5.

As oito composições preparadas, conforme Tabela 1, apresentaram boa trabalhabilidade e consistência que favoreceu o processo de moldagem. Observou-se formação de água livre sobre a pasta nas composições 1 e 2. As demais composições apresentaram consistência visualmente plástica.

Para a caracterização da argamassa fresca foram medidas as propriedades: tempo de pega, densidade da pasta e viscosidade. Já para a caracterização da argamassa endurecida, foram medidas a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura e a absorção de água aos 28 e 91 dias de cura. Os resultados dessas medidas foram agrupados e são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades da argamassa fresca e endurecida

Composição	Início de pega (min)	Densidade da pasta (g.cm ⁻³)		Viscosidade da pasta (Pa.s)		Resistência à compressão (MPa)				Absorção de água(%)			
		Média	desvio padrão	média	desvio padrão	7 dias		28 dias		28 dias		91 dias	
						média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão	média	desvio padrão
1	422	1,867	0,025	23,6	4,1	9,10	0,87	12,8	1,3	17,86	1,49	20,67	0,60
2	489	1,920	0,047	77,9	37,5	9,63	0,55	13,7	0,6	16,49	1,28	17,27	0,11
3	384	1,870	0,026	171	25	7,55	0,53	11,1	1,5	19,59	1,73	19,22	1,82
4	334	1,865	0,021	184	55	8,57	0,53	13,2	1,0	18,15	0,76	18,95	2,42
5	234	1,823	0,028	39,3	6,0	17,2	0,4	17,8	2,2	17,77	1,26	18,30	0,60
6	248	1,905	0,028	61,3	23,0	14,5	0,7	19,5	1,6	16,12	2,15	17,08	2,19
7	260	1,931	0,029	228	55	13,3	0,8	16,4	0,6	16,01	0,25	18,41	0,67
8	277	1,918	0,061	144	11	11,5	0,9	15,1	1,1	13,76	1,07	15,43	0,66

Medidas do tempo de início de pega revelaram resultados coerentes com as propriedades dos cimentos utilizados. Observa-se que as argamassas preparadas com cimento CPV apresentam pega mais rápida que as preparadas com cimento CPII. Observa-se nos resultados apresentados na Tabela 3 que não há diferença significativa entre os resultados de densidade da pasta para as diferentes composições estudadas. As medidas de viscosidade, com os resultados

apresentados geometricamente na Figura 2, revelam que há efeito significativo do traço sobre a viscosidade da pasta. A carta de Pareto dos efeitos padronizados apresentada na Figura 3 confirma essa observação.

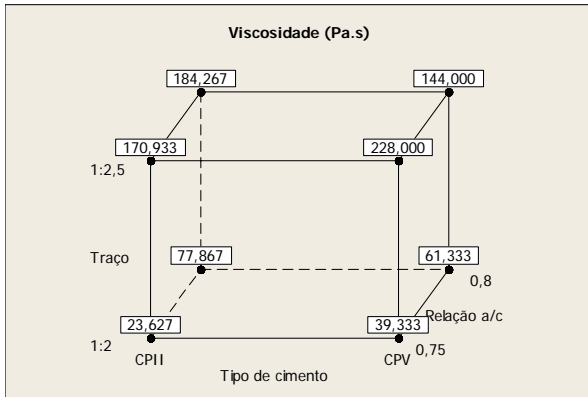


Figura 2 – Apresentação geométrica dos resultados de viscosidade

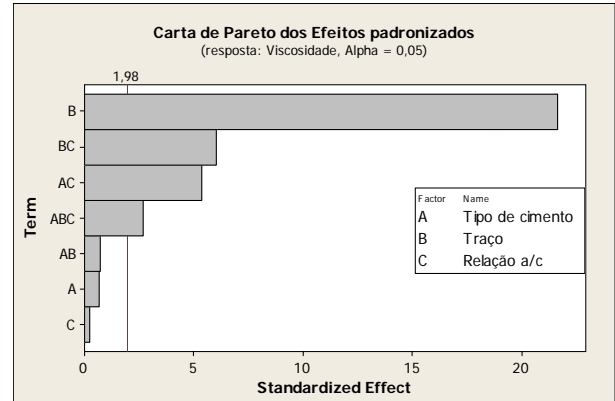


Figura 3 – Carta de Pareto dos efeitos padronizados da viscosidade

A análise dos resultados de resistência nas cartas de Pareto dos efeitos padronizados apresentadas nas Figuras 4 e 5 ao nível de confiança de 95% revela que há efeito significativo das três variáveis em estudo sobre a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de cura. Além dos efeitos principais, é também significativo o efeito da interação entre o tipo de cimento e o traço.

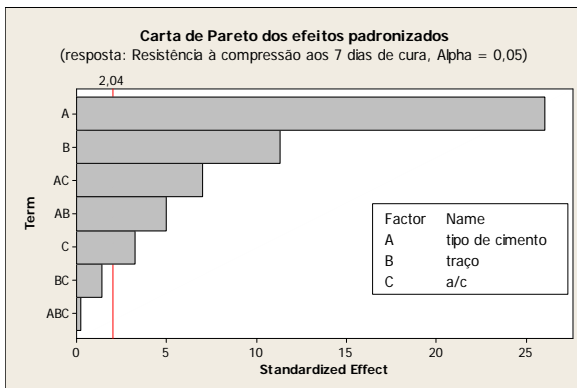


Figura 4 – Carta de Pareto dos efeitos padronizados da resistência à compressão aos 7 dias de cura

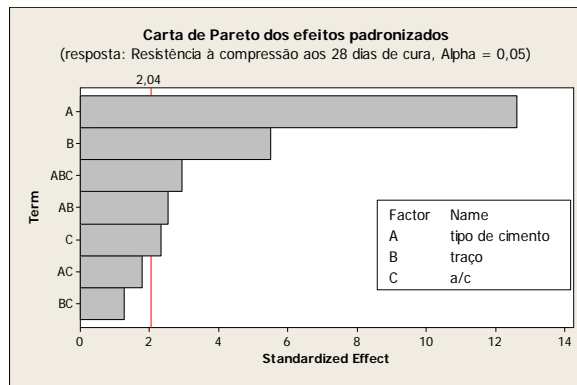


Figura 5 – Carta de Pareto dos efeitos padronizados da resistência à compressão aos 28 dias de cura

Os resultados representados nas Figuras 6 e 7 revelam que maiores resistências são alcançadas com a utilização de cimento CPV, traço 1:2 ou relação a/c 0,80. Maiores valores de resistência para o traço 1:2 do que para o traço 1:2,5 já eram esperados uma vez que maior a proporção de material aglomerante na

massa, mais intensa é a adesão dos constituintes. Entretanto os resultados apresentados são importantes para avaliar a magnitude dessa diferença e a possibilidade de empregar maiores proporções de resíduo arenoso sem grande perda de resistência.

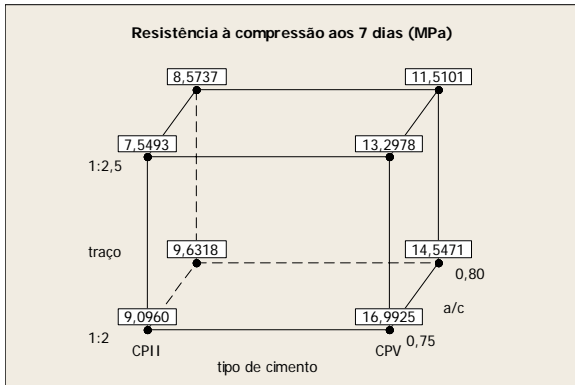


Figura 6 – Apresentação geométrica dos resultados de resistência à compressão aos 7 dias de cura

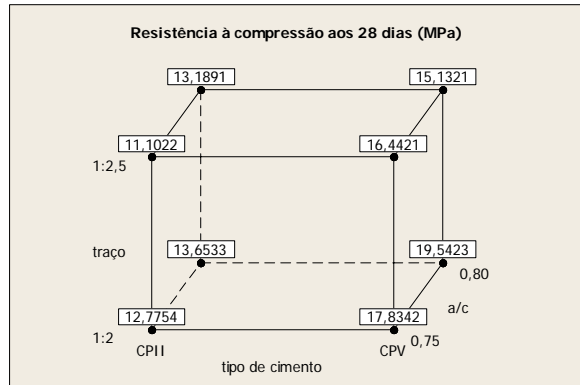


Figura 7 – Apresentação geométrica dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias de cura

Resultados de absorção de água aos 28 e 91 dias de cura apresentados geometricamente nas Figuras 8 e 9 e sua análise por meio das curvas de Pareto dos efeitos padronizados apresentados na Figuras 10 e 11 revelam que há efeito significativo do tipo de cimento e da relação a/c sobre essa propriedade. Observa-se que argamassas preparadas com cimento CPII ou a/c 0,75 apresentam maior absorção de água, o que está relacionado à maior porosidade dessas argamassas e pode justificar a menor resistência à compressão dessas argamassas.

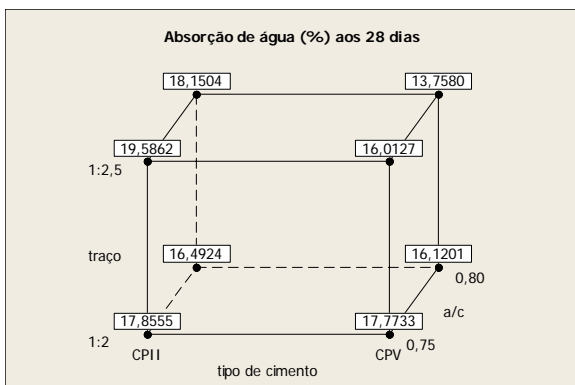


Figura 8 – Apresentação geométrica dos resultados de absorção de água aos 28 dias de cura

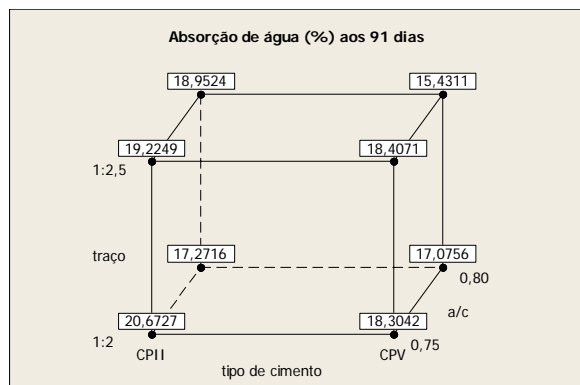


Figura 9 – Apresentação geométrica dos resultados de absorção de água aos 91 dias de cura

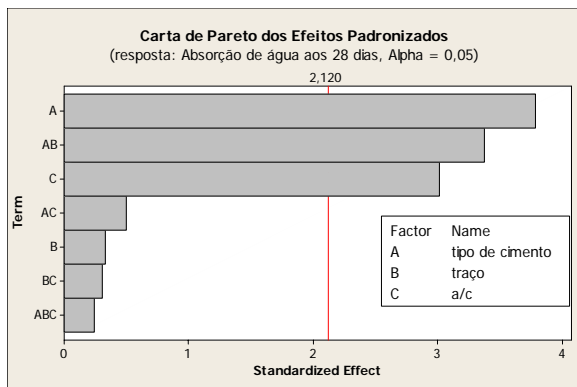


Figura 10 – Carta de Pareto dos efeitos padronizados da resistência à compressão aos 28 dias de cura

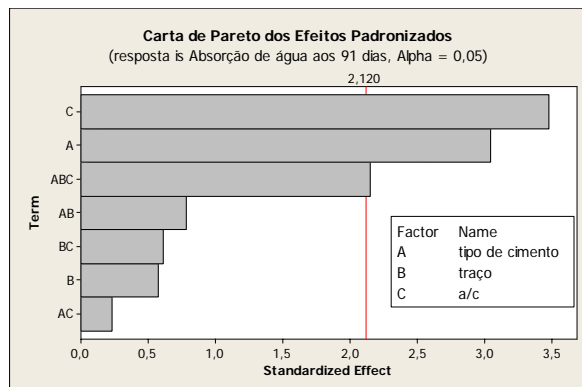


Figura 11 – Carta de Pareto dos efeitos padronizados da resistência à compressão aos 91 dias de cura

CONCLUSÕES

O resíduo arenoso não contém compostos deletérios aos produtos cimentícios, entretanto, não atende aos critérios de distribuição granulométrica especificados pela NBR 7211:2009 para ser usado como agregado miúdo.

Os estudo realizados comprovam a possibilidade de emprego do resíduo arenoso como agregado miúdo em dosagens com traços 1:2 e 1:2,5 e relação a/c 0,75 e 0,80 utilizando cimentos CII e CPV.

Maiores resistências e menor absorção de água são alcançados com o emprego de cimento CP V e relação a/c 0,80, sendo que não foi observado efeito significativo da interação desses fatores.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, à FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro. À SAMARCO Mineração S.A. por ceder as amostras de resíduo arenoso.

REFERÊNCIAS

- (1) NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Tradução de Salvador E. Giammusso. 2ª. ed. São Paulo: Pini Ltda, 1997.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2009.
- (3) CORINALDESI, V.; GNAPPI, G.; MORICONI, G.; MONTENERO, A. Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars. **Waste Management**, v.25, p.197–201, 2005.

- (4) AKCAOZOG˘LU, S.; ATIS, C.D.; AKCAOZOG˘LU, K. An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. **Waste Management**, v.30, p.285–290, 2010
- (5) SENTHAMARAI, R.M.; DEVADAS MANOHARAN, P. Concrete with ceramic waste aggregate. **Cement & Concrete Composites**, v. 27, p.910–913, 2005
- (6) ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE JR., F.; GUIMARÃES, M. L. V. Um modelo para a evolução microestrutural dos minérios de ferro do quadrilátero ferrífero. Parte I - estruturas e recristalização. **Geonomos**, v.1, n.1, p.65-84, 1993.
- (7) COSTA, Á. G. D. et al. Geologia de mina na Samarco Mineração: um suporte ao planejamento de curto prazo/controlado de qualidade, com ênfase no controle mineralógico e na previsibilidade do comportamento dos tipos de minério no processo. In: III Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, Ouro Preto, MG, 2001. **Anais do III Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro**. São Paulo, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2009.
- (8) SAMPAIO, J. A.; LUZ, A. B. D.; LINS, F. F. **Usinas de beneficiamentos de minérios do Brasil**. 2ª ed. Rio de Janeiro: CETEM, p.327-341, 2001.
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- (10)PIRES, J. M. M. et al. Potencial poluidor de resíduo sólido da Samarco Mineração: estudo de caso da Barragem de Germano. **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.393-397, 2003.
- (11)ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.
- (12)ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7389-1**: Agregados - Análise petrográfica de agregado para concreto - Parte 1: Agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009.
- (13)TELLO, C. C. O. D.; HAUCZ, M. J. A.; SELES, S. R. **RT (CT3) CDTN - 0295 Rev.01: Ensaio de viscosidade em pastas de cimento contendo rejeitos**. CDTN/CNEN, Belo Horizonte, 2008.
- (14)ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2003/Emd1:2008.
- (15)ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.
- (16)ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2005.

FINE NATURAL AGGREGATE REPLACEMENT FOR SANDY RESIDUE FROM ITABIRITE EXPLOITATION IN PORTLAND CEMENT MORTAR

ABSTRACT

The fine natural aggregates are a material largely used by the civil construction for mortar and concrete production. Due to tightening legal restrictions imposed on their extraction, alternative materials are being considered. The use of sandy residue from BIF (banded iron formations) exploitation was investigated. It requires their grinding and flotation to concentrate iron oxides. Large amounts of sandy residue composed of quartz and iron oxides are generated in this process. The sandy residue was characterized relative to mineralogical composition, particle size distribution, presence of organic impurities, and particle shape. Mortar formulations were prepared by varying the type of cement, the cement to aggregate proportion and the water/cement ratio (a/c). The results of viscosity and density of fresh mortar, setting time, and compressive strength are presented. Compressive strength up to 19.5 MPa at 28 days were achieved with the use of cement CPV, a/c ratio of 0.80 and cement:aggregate proportion of 1:2. The results demonstrate the technical feasibility of using sandy residue as fine aggregate.

Key-words: sandy residue, cement products, aggregates.