

Avaliação de propriedades mecânicas de concretos contendo escória de cobre como agregado miúdo

(Evaluation of mechanical properties of concrete with copper slag as fine aggregate)

Washington Almeida Moura

*Dr. em Engenharia Civil, Professor do Departamento de Tecnologia - PPGECEA
Universidade Estadual de Feira de Santana/Bahia. E-mail: wam@uefs.br*

Jardel Pereira Gonçalves

*Dr. em Engenharia Civil, Professor do Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável/
Universidade Federal da Bahia. E-mail: jardelpg@ufba.br*

Mônica Batista Leite

*Dra. em Engenharia Civil, Professora do Departamento de Tecnologia, PPGECEA
Universidade Estadual de Feira de Santana/Bahia. E-mail: mleite.uefs@gmail.com*

Resumo

Nesse trabalho, são apresentados os resultados do estudo sobre a utilização da escória de cobre como agregado miúdo para concreto. Foi avaliada a influência da utilização de diferentes teores de escória de cobre granulada, como agregado miúdo, nas propriedades mecânicas (resistência à compressão e tração) do concreto. Os resultados mostram que a utilização de escória de cobre como agregado miúdo, até 40% de substituição em volume, promove um incremento no desempenho mecânico do concreto, demonstrando a possibilidade de utilização em substituição parcial do agregado miúdo natural.

Palavras-chave: Concreto, escória de cobre, agregado miúdo.

Abstract

This work presents the results of the study about the use of copper slag as fine aggregate for concrete. The influence of the use of different percentages of granulated copper slag, as fine aggregate, in the mechanical properties (compression strength and splitting tensile strength) of the concrete was evaluated. The results show that the use of copper slag as fine aggregate, up to 40% of substitution in volume, promotes an increment in the mechanical performance of the concrete. The work shows the possibility of using copper slag in partial substitution of the natural aggregate.

Keywords: Concrete, copper slag, fine aggregate.

1. Introdução

A utilização de resíduos sólidos urbanos e industriais, para produção de novos materiais de construção, pode contribuir para redução do impacto ambiental causado pelo setor da construção civil, através da diminuição do consumo de recursos naturais e energia, da redução da poluição gerada e do consumo de energia para sua produção.

O estudo do aproveitamento de resíduos de escórias metalúrgicas no Brasil vem se desenvolvendo há algum tempo. As escórias de alto-forno, por exemplo, já são amplamente utilizadas na fabricação de cimento e como agregado miúdo. Pesquisas realizadas com escórias de aciaria e de cobre têm apontado boas perspectivas de utilização desses resíduos.

A atividade de produção do cobre gera volumes significativos de escórias durante o processo de transformação das matérias-primas em produtos acabados. Em nível mundial, são geradas cerca de 13 milhões de toneladas. No Brasil, geram-se, em média, cerca de 230 mil toneladas por ano, que são depositadas no pátio da metalúrgica (Moura, 2000). Alguns estudos têm sido desenvolvidos para utilização da escória de cobre como material de construção. Nos trabalhos desenvolvidos por Arino e Mobasher (1999), Moura (2000) e Moura et al. (2006), a escória de cobre moída foi utilizada como substitutivo parcial do cimento, enquanto que, nos trabalhos desenvolvidos por Silva (1994) e Moura (2000), a escória de cobre foi utilizada como agregado miúdo na produção de concretos. Os resultados desses estudos indicaram um bom desempenho dos concretos com adição de escória de cobre, em relação às propriedades estudadas.

Nesse trabalho, são apresentados os resultados do estudo sobre a utilização da escória de cobre como agregado miúdo para concreto. Foi avaliada a influência da substituição do agregado natural por diferentes teores de escória de cobre granulada, variando de 0% a 50% de substituição. As propriedades mecânicas avaliadas foram: resistência à

compressão axial, resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão.

2. Materiais e métodos

Para realização desse estudo, foi utilizado o cimento CP I S - 32. A areia utilizada foi do tipo quartzosa, disponível comercialmente em Porto Alegre/RS, cujas características estão apresentadas na Tabela 1.

Utilizou-se a escória de cobre granulada sem qualquer beneficiamento, proveniente da Caraiba Metais, na Bahia. Nos estudos desenvolvidos por Moura (2000), foi avaliado o risco ambiental, no qual verificou-se que a escória de cobre pode ser classificada como Classe II - não inerte, mas não perigosa, de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2005), não apresentando, portanto, riscos à saúde humana, nem ao meio ambiente. As características da escória de cobre estão apresentadas na Tabela 1. Verifica-se que a escória apresenta uma graduação mais grossa que a areia natural. Sua massa específica é muito elevada (3,870kg/dm³). Além disso, a escória apresenta forma esférica e textura bastante lisa.

O agregado graúdo utilizado no estudo foi de origem granítica com dimensão máxima característica de 25mm, massa específica de 3,06g/cm³ e massa unitária de 1,50g/cm³. Esse agregado é disponível comercialmente na região de Porto Alegre/RS.

2.1 Dosagem dos concretos

Para avaliar o comportamento mecânico dos concretos contendo escória de cobre como agregado miúdo, foram produzidas misturas sem escória de cobre (referência) e misturas contendo 30%, 40% e 50% de escória de cobre granulada em substituição (em volume) à areia natural. Para produção dos concretos, foi utilizado o método de dosagem do IPT/EPUSP (Helene & Terzian, 1992), de forma que todas as misturas apresentassem a mesma trabalhabilidade. A trabalhabilidade das misturas foi avaliada através do abatimento pelo tronco de cone (NBR 7223, 1992) e fixada em 70 ± 10 mm. A Tabela 2 apresenta as proporções, em massa, dos materiais utilizados para a produção dos concretos.

Verificou-se que os concretos contendo escória de cobre apresentavam trabalhabilidade superior ao limite estabelecido (70 ± 10 mm). Esse fato ocorreu, provavelmente, devido à granulometria da mistura (areia+escória de cobre), que é mais grossa, à superfície lisa dos grãos de escória, além da sua massa específica, que é bem mais elevada do que a dos demais componentes da mistura. Porém, como o parâmetro de dosagem foi o de manter a mesma trabalhabilidade, os concretos contendo escória de cobre tiveram uma redução da relação água/cimento, conforme consta na Tabela 2. Observou-se que os concretos com 50% de escória de cobre em substituição à areia apresentaram exsudação.

Tabela 1 - Características da areia natural e da escória de cobre.

Característica	Resultado	
	Areia Natural	Escória de cobre
Dimensão máxima característica (mm)	1,2	4,8
Módulo de finura	1,78	3,4
Massa específica (g/cm ³)	2,619	3,87
Massa unitária (g/cm ³)	1,5	2,25
Material pulverulento (%)	-	0,51

Os concretos foram produzidos em um misturador de eixo vertical e o tempo de mistura foi de cinco minutos após a colocação da água. Foram moldados doze corpos-de-prova de 10x20cm, para os ensaios de resistência à compressão e resistência à tração por compressão diametral, e seis corpos-de-prova de 10x10x40cm, para os ensaios de resistência à tração na flexão. Os corpos-de-prova foram desmoldados após 24 horas e curados em câmara úmida (100% de umidade relativa) a uma temperatura de 23°C ± 2°C até a idade do ensaio. As propriedades foram avaliadas aos 7 e 28 dias de idade, sendo 03 corpos-de-prova para cada idade. A resistência à compressão axial foi avaliada numa prensa hidráulica de acordo com NBR 5739 (1994), enquanto a resistência à tração por compressão diametral e a resistência à tração na flexão foram avaliadas de acordo com a NBR 7722 (1982) e a NBR 12142 (1991), respectivamente.

3. Apresentação dos resultados e discussão

3.1 Resistência à compressão axial

Na Figura 1 (a) e (b), estão apresentados os resultados de resistência à compressão axial dos concretos aos 7 e 28 dias.

Verifica-se que houve um aumento na resistência à compressão do concreto com a substituição da areia por escória de cobre. Esse incremento foi maior com o aumento do teor de substituição. Esse aumento ocorreu devido à redução da quantidade de água da mistura e, conseqüentemente, à relação água/cimento e a uma melhor distribuição dos grãos da escória no concreto, promovendo uma maior densificação da matriz.

Entretanto concretos contendo teores de substituição de areia por escória acima de 40% apresentaram uma redução na resistência à compressão. Como

a escória de cobre apresenta diâmetro máximo característico e granulometria mais grossa que a areia natural, altos teores de substituição podem ter provocado a formação de uma quantidade maior de zona de interface pasta-agregado, contribuindo para redução da resistência à compressão dos concretos.

3.2 Resistência à tração por compressão diametral e resistência à tração na flexão

Na Figura 2 (a) e (b), são apresentados os resultados de resistência à tração por compressão diametral e, na Figura 3 (a) e (b), os resultados de resistência à tração na flexão dos concretos produzidos aos 7 e 28 dias, respectivamente.

Verifica-se que, tanto na resistência à tração por compressão diametral, quanto na resistência à tração na flexão, houve um aumento de resistência à medida que há um aumento do teor de subs-

Tabela 2 - Proporção dos materiais e consumo de cimento dos concretos produzidos.

Mistura	Relação a/c	Cimento	Areia	Escória	Brita	Consumo de cimento* (kg/m³)
Referência	0,41	1	1,363	-	2,459	477
	0,50		2,039	-	3,163	372
	0,64		2,716	-	3,867	301
70% areia + 30% escória	0,41	1	0,954	0,604	2,459	477
	0,50		1,427	0,904	3,163	372
	0,61		1,901	1,203	3,867	303
60% areia + 40% escória	0,38	1	0,817	0,806	2,459	484
	0,48		1,223	1,205	3,163	375
	0,57		1,630	1,605	3,867	307
50% areia + 50% escória	0,38	1	0,681	0,998	2,459	485
	0,48		1,020	1,494	3,163	376
	0,53		1,358	1,991	3,867	311

*Foi adotado o teor de 2% de ar no concreto para o cálculo do consumo de cimento.

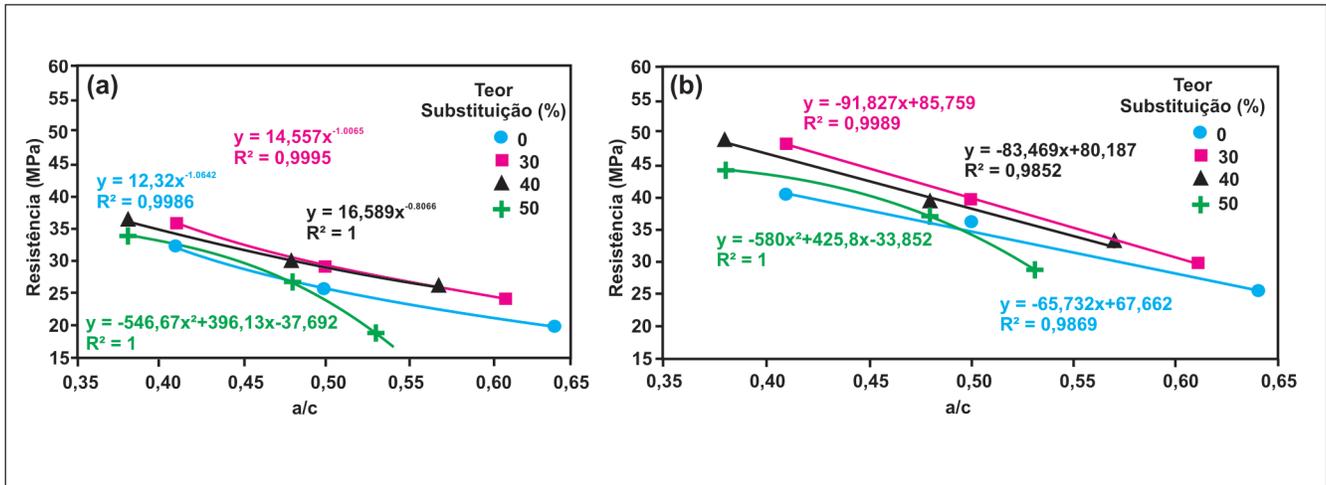


Figura 1 - Resultados de resistência à compressão dos concretos: (a) aos 7 dias e (b) aos 28 dias.

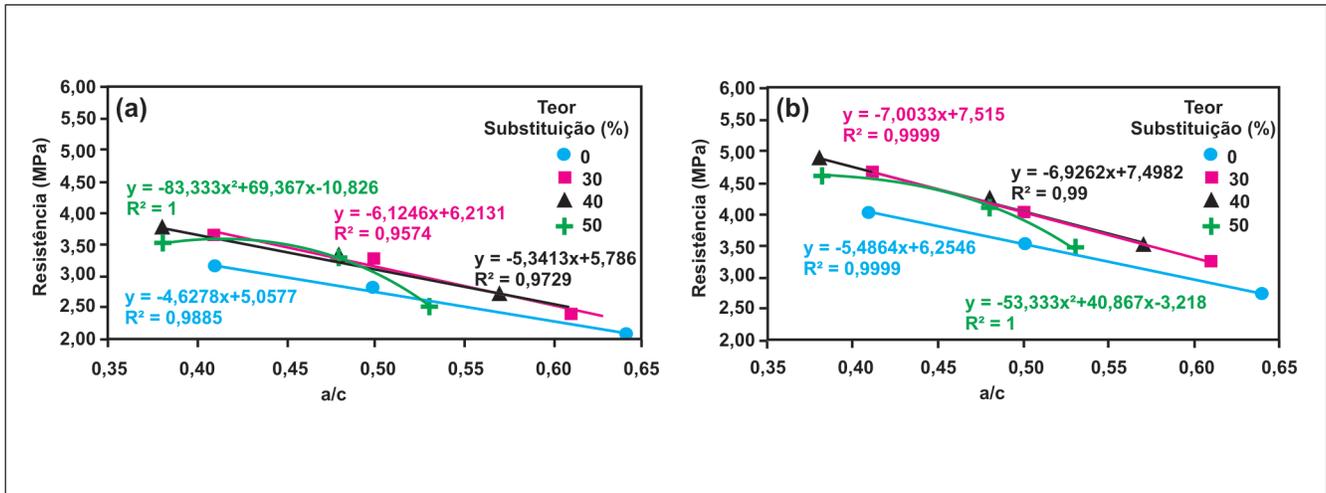


Figura 2 - Resultados de resistência média à tração por compressão diametral dos concretos: (a) aos 7 dias e (b) aos 28 dias.

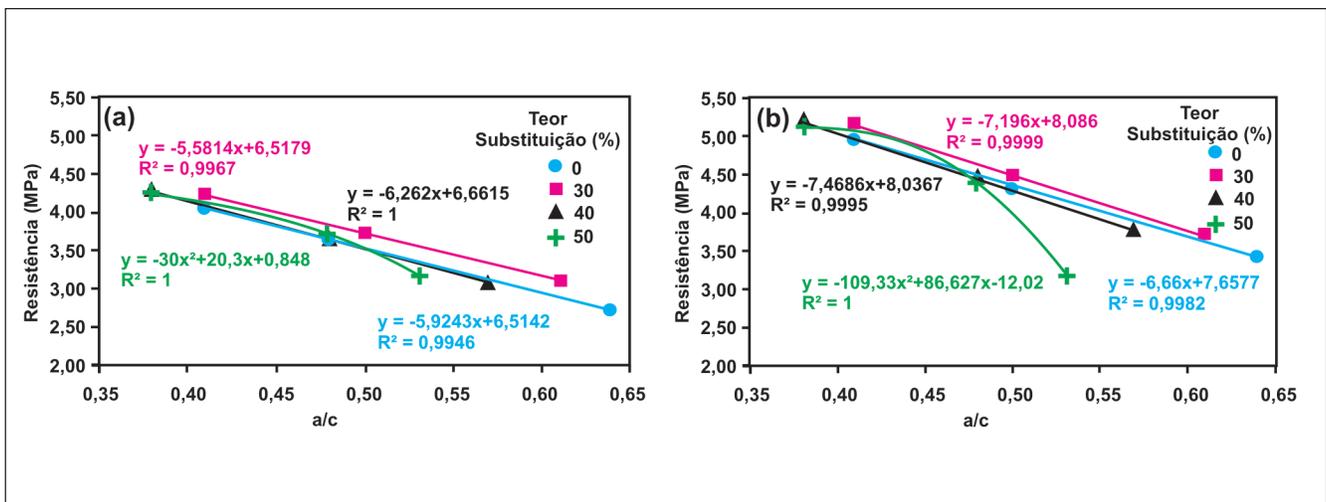


Figura 3 - Resultados de resistência média à tração na flexão dos concretos: (a) aos 7 dias e (b) aos 28 dias.

tuição da areia por escória de cobre até 40%. Há um aumento da resistência à tração quanto menor for a relação a/c. O fato de os grãos de escória de cobre apresentarem uma textura lisa pode provocar uma redução nas resistências mecânicas do concreto, principalmente com relação à tração por flexão, uma vez que há uma redução na aderência pasta de cimento-agregado. Entretanto a redução dos vazios, devido à maior densificação da matriz, deve ter sido preponderante sobre a possível redução da aderência.

Os concretos com teor de substituição acima de 40% e relação água/cimento (a/c) acima de 0,50 apresentaram uma redução da resistência à tração.

4. Conclusões

A resistência à compressão axial do concreto aumentou com a substituição de parte da areia por escória de cobre, em todas as idades de ensaio. Entretanto, nos concretos com 50% de escória, com relação a/c igual a 0,53, a resistência foi inferior à do concreto de referência.

A resistência à tração dos concretos, seja por compressão diametral ou na flexão, também aumentou com a utilização da escória de cobre como parte do agregado miúdo. O aumento da resistência foi maior, quanto maior foi o teor de escória de cobre. Porém, nos concretos

com 50% de escória, a resistência à tração por compressão diametral foi menor do que à do concreto de referência.

Pode-se concluir que a utilização de escória de cobre como parte do agregado miúdo, até 40% em volume, proporcionou melhor desempenho do concreto quanto às propriedades mecânicas avaliadas. Dessa forma, a utilização de escória de cobre como agregado miúdo para concreto apresenta-se como uma grande alternativa, não só pelas vantagens técnicas, mas pela redução do impacto ambiental provocado pela escassez e exploração descontrolada de areia.

5. Referências bibliográficas

- ARINO, A., MOBASHER, B. Effect of copper slag on the strength, and toughness of cementitious mixtures. *ACI Materials Journal*, v. 96, n. 1, p. 68, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 10004 - Resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7223 - Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5739 - concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7222 - Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 12142 - Concreto: determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos*. Rio de Janeiro, 1991.
- HELENE, P., TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. PINI. São Paulo: 1992. 349p.
- MOURA, W. A. *Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2000. 207p. (Tese de Doutorado).
- MOURA, W. A., GONÇALVES, J. P., LEITE, M. B. Copper slag waste as a supplementary cementing material to concrete. *Journal of Materials Science*, v. 42, p. 2226-2230, 2007.
- SILVA, F. J. *Utilização da escória de cobre como agregado miúdo para produção de peças pré-moldadas de concreto*. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Civil, 1994. 104p. (Dissertação de Mestrado).

Artigo recebido em 26/12/2006 e aprovado em 11/03/2009.

**A REM tem novo endereço:
FUNDAÇÃO GORCEIX - REM
Rua Carlos Walter Marinho Campos, 57
Bairro: Vila Itacolomy
35400-000 - Ouro Preto - MG
www.rem.com.br**