



Rem: Revista Escola de Minas

ISSN: 0370-4467

editor@rem.com.br

Escola de Minas

Brasil

Macedo Pereira, Fernanda; Krause de Verney, José Carlos; Lenz, Denise Maria  
Avaliação do emprego de carepa de aço como agregado miúdo em concreto  
Rem: Revista Escola de Minas, vol. 64, núm. 4, outubro-diciembre, 2011, pp. 463-469  
Escola de Minas  
Ouro Preto, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56421349011>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica  
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Metalurgia e materiais

*Metallurgy and materials*

## Avaliação do emprego de carepa de aço como agregado miúdo em concreto

### *Evaluation of the use of mill scale as fine aggregate in concrete*

#### **Fernanda Macedo Pereira**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia,  
Energia, Ambiente e Materiais,  
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA.  
Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC  
[fernanda.pereira@ulbra.br](mailto:fernanda.pereira@ulbra.br)

#### **José Carlos Krause de Verney**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia,  
Energia, Ambiente e Materiais,  
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA  
[jcverney@ulbra.br](mailto:jcverney@ulbra.br)

#### **Denise Maria Lenz**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia,  
Energia, Ambiente e Materiais,  
Universidade Luterana do Brasil – ULBRA  
[denise.lenz@gmail.com](mailto:denise.lenz@gmail.com)

#### **Resumo**

A carepa de aço é um resíduo sólido gerado na etapa de laminação da fabricação do aço, normalmente depositado ao ar livre no pátio de siderúrgicas. O presente trabalho visa a avaliar a possibilidade de incorporação da carepa de aço em concreto de cimento Portland, como substituição à areia natural quartzosa. Foram produzidos concretos com traços 1:3,5; 1:5,0 e 1:6,5, com diferentes teores do resíduo (0%, 10%, 25% e 40%) e abatimento de  $110 \pm 10$  mm, para determinação da resistência à compressão e absorção de água. Os concretos com carepa de aço exigiram maior quantidade de água para manutenção da trabalhabilidade fixada. A análise dos resultados indicou, para concretos com relações água/cimento 0,55 e 0,65, redução da resistência à compressão e maior absorção de água à medida que o teor de carepa de aço aumentava.

**Palavras-chave:** Carepa de aço, concreto, resistência à compressão, absorção de água.

#### **Abstract**

Mill scale is a solid waste formed on the steel's surface during the lamination step of steel manufacture, usually deposited outdoors at steelmaking industries. This work aims to evaluate the use of mill scale in Portland cement concrete, as a replacement for natural fine aggregate. Concretes with mix proportioning 1:3,5, 1:5,0 and 1:6,5 were produced varying the mill scale content from 0% to 40%, with a given slump  $110 \pm 10$  mm, for determination of compressive strength and water absorption. Concrete with mill scale has demanded greater water content to maintain the workability. The results indicated that concretes with water/cement ratios of 0.55 and 0.65 have a compressive strength reduction and greater water absorption as the mill scale content increases.

**Keywords:** Mill scale, concrete, compressive strength, water absorption.

#### **1. Introdução**

A preocupação com a preservação do meio ambiente e aspectos vinculados à gestão ambiental é crescente nos últimos anos, apresentando-se como uma constante nos diversos segmentos industriais (Levy, 2001). A disposição

inadequada dos resíduos, com deposição de grandes quantidades em locais impróprios, ocasiona efeitos deletérios ao meio ambiente, gerando riscos de contaminação do solo, atmosfera e fontes de água. Consequência direta desse fato são o

recentes avanços no desenvolvimento de novos materiais pelo aproveitamento de resíduos de diversos setores produtivos como subproduto de valor agregado, visando a assegurar a integração e o equilíbrio entre o desenvolvimento industrial e a proteção ambiental.

A carepa de aço é um resíduo sólido gerado na fabricação do aço, produzida na oxidação da superfície do aço quando este se encontra em elevada temperatura. O metal em alta temperatura reage com o oxigênio formando óxidos de ferro com baixa aderência, os quais constituem a carepa. A carepa deve ser removida para evitar inclusões que diminuam a qualidade do aço durante sua conformação mecânica por laminação ou outro processo de deformação plástica. Dados apresentados por Oliveira (2004) revelam que, em usinas integradas, a produção de 1 tonelada de aço produz 10 kg de carepa. A disposição da carepa de aço em pátios deve ser realizada seguindo-se as normas ambientais pertinentes, visto que esse resíduo é classificado como classe I, resíduos perigosos, segundo a NBR 10004 (2004).

Alguns resíduos provenientes de

operações de siderurgia e metalurgia já possuem uso consagrado e disseminado no setor da construção civil, como, por exemplo, as escórias granuladas de alto-forno provenientes da produção do ferro-gusa, utilizadas na fabricação de cimentos Portland (Moura, 2000). Alternativas para a utilização de subprodutos decorrentes da fabricação do aço, como a escória de aciaria (Masuero, 2001) e a carepa de aço, vêm sendo desenvolvidas, podendo vir a viabilizar a redução do consumo de matérias-primas naturais e os impactos decorrentes da sua extração no meio ambiente.

Estudos realizados pela Gerdau (2003) verificaram a viabilidade de reciclagem da carepa de aço em artefatos de cimento para calçamento, através da substituição da areia e brita por carepa, apontando, assim, para a possibilidade da obtenção de produtos com custo significativamente inferior aos existentes no mercado. Cunha et al. (2006) e Martins (2006) realizaram as caracterizações física, química e mineralógica da carepa de laminação, as quais permitiram investigar suas propriedades e potencialidades

industriais. Al-Otaibi (2008) investigou a possibilidade de reciclar carepa de aço em materiais cimentícios como agregado miúdo, analisando argamassas de cimento Portland com teores de 0%, 20%, 40%, 50%, 70% e 100%. Os valores de resistência à compressão e tração na flexão das argamassas, para todas as idades analisadas (3, 7 e 28 dias), aumentaram com a substituição de até 40% de carepa de aço, havendo, também, redução da retração por secagem das argamassas com 70% de carepa de aço.

Dentro desse contexto, a utilização da carepa de aço pode apresentar-se como alternativa relevante na produção de concretos de cimento Portland, sendo imperativo, no entanto, estudos de viabilidade técnica e da potencialidade do emprego desse material. O presente trabalho apresenta, como objetivo, avaliar a viabilidade de incorporação da carepa de aço em concretos de cimento Portland, como substituição de areia natural quartzosa normalmente utilizada na sua produção, analisando-se a resistência à compressão e a absorção de água de concretos com diferentes teores do resíduo.

## 2. Materiais e métodos

Nesse estudo, foi utilizado cimento do tipo CP IV-32, por ser amplamente utilizado no Estado do Rio Grande do Sul, com características de acordo com as especificações da ABNT NBR 5736 (1991). Como agregados, foram utilizadas areia natural quartzosa proveniente do leito do rio Jacuí, comercialmente denominada areia regular, e brita de origem basáltica com dimensão máxima característica 19 mm. A carepa de aço (Figura 1) foi proveniente da Siderúrgica Gerdau Riograndense, localizada em Sapucaia do Sul/RS. Na produção dos concretos, foi utilizada água proveniente da rede de abastecimento local da ULBRA Canoas.

A Tabela 1 apresenta a composição granulométrica dos agregados e da carepa de aço, determinada de acordo com a ABNT NBR NM 248 (2003), bem como a massa específica dos mesmos, determinada pelo método do picnômetro.

A análise elementar dos metais da carepa foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica ou plasma por acoplamento indutivo (ICP), conforme o *Standard Methods* 3500 (Water Environment Federation, 2005), após digestão de amostras submetidas a sucessivos quarteamentos, exceto os elementos silício e titânio, os quais foram analisados conforme as metodologias EPA 6010 B e

ICP- SM 3120 B, respectivamente. O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico e o teor de óleos e graxas pelo método EPA 9071-B. As principais fases constituintes da carepa foram determinadas por difratometria de raios X (DRX) em um difratômetro RIGAKU RMN3Kw-B D/MAX-2100, usando radiação CuK $\alpha$  de comprimento 1.5418 Å.

Para a confecção do concreto, foram realizadas dosagens de concreto pelo método IPT/EPUSP apresentado por Helene & Terzian (1992), com traços de concreto de 1:3,5; 1:5,0 e 1:6,5, com teores de carepa de 0%, 10%, 25% e 40%, utilizada como agregado miúdo



Figura 1  
Carepa de aço utilizada  
como agregado miúdo.

Tabela 1  
Caracterização física dos agregados.

Peneiras	Massa retida (kg)			% em massa					
				Retida			Acumulada		
	Areia	Brita	Carepa	Areia	Brita	Carepa	Areia	Brita	Carepa
19mm	-	0,052	-	-	5	-	-	5	-
12,5mm	-	0,378	-	-	38	-	-	43	-
9,5mm	-	0,320	-	-	32	-	-	75	-
6,3mm	-	0,222	-	-	22	-	-	97	-
4,75mm	0,008	0,019	0,004	1	2	1	1	99	1
2,36mm	0,031	0,007	0,016	3	1	3	4	100	4
1,18mm	0,048	0,000	0,035	5	0	7	9	100	11
600mm	0,121	-	0,066	12	-	13	21	100	24
300mm	0,433	-	0,069	43	-	14	64	100	38
150mm	0,320	-	0,116	32	-	23	96	100	61
<150mm	0,039	0,002	0,194	4	0	39	100	100	100-
TOTAL	1	1,000	0,500	100	100	100	195	679	139
Módulo de finura							1,95	6,79	1,39
Dimensão máxima característica (mm)							2,36	19	2,36
Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )							2,63	2,92	4,26

em substituição à areia natural. O ensaio de abatimento pelo tronco de cone, fixado na faixa de (110 ±10) mm, foi realizado conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998). Tendo em vista a diferença das massas específicas da areia natural e da carepa de aço, foi realizada a correção da massa de agregado miúdo, de modo a manter-se constante, para cada combinação traço/teor de carepa, o consumo de cimento por metro cúbico de concreto. A Tabela 2 apresenta a proporção em mas-

sa dos materiais para os diferentes traços.

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água, foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos (10 x 20 cm), moldados segundo a NBR 5738 (ABNT, 2003), para cada combinação de traço e porcentual de carepa, sendo dois corpos-de-prova para o ensaio de resistência à compressão, para cada idade de ensaio, e três corpos-de-prova, para o ensaio de absorção de água. Os ensaios de resistência à

compressão foram realizados conforme os procedimentos estabelecidos na NBR 5739 (ABNT, 2007), aos 7 e 28 dias de idade, com capeamento à base de enxofre, em prensa eletrohidráulica com capacidade de 150 toneladas, e os ensaios de absorção de água, conforme as recomendações da NBR 9778 (ABNT, 2006). A partir das curvas de comportamento obtidas (diagramas de dosagem), foram calculados os parâmetros de resposta para as relações a/c 0,55 e 0,65.

Tabela 2  
Proporção dos materiais.

Traço (massa)	Teor de Carepa (%)	Traço unitário (massa)			
		Cimento	Areia	Carepa (*)	Brita
1:3,5	0	1	1,38	0	2,12
1:5,0		1	2,18	0	2,82
1:6,5		1	2,98	0	3,52
1:3,5	10	1	1,24	0,23	2,12
1:5,0		1	1,96	0,36	2,82
1:6,5		1	2,68	0,49	3,52
1:3,5	25	1	1,04	0,56	2,12
1:5,0		1	1,63	0,88	2,82
1:6,5		1	2,24	1,21	3,52
1:3,5	40	1	0,83	0,89	2,12
1:5,0		1	1,31	1,41	2,82
1:6,5		1	1,79	1,93	3,52

(\*) A proporção de carepa foi corrigida pelo fator 1,62, devido às diferenças de massa específica entre esse material e a areia natural.

### 3. Resultados e discussão

#### Análise química e mineralógica da carepa de laminação

A Tabela 3 mostra o resultado médio da composição química da carepa de laminação coletada no ano de 2008. Observa-se uma concentração de elementos menor que a apresentada em trabalho de Cunha et al. (2006), com exceção do elemento silício, que apresentou concentração semelhante. De fato, a composição

química da carepa de laminação depende do processo siderúrgico utilizado para a fabricação do aço.

Através de difratometria de raios X (DRX), foi possível determinar as formas mineralógicas do elemento Fe, constituinte majoritário da carepa. O Fe encontra-se, principalmente, na for-

ma magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) em concentração de 40% em massa, seguido das formas wustita (FeO) com 29% e hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) com 23%. Foi possível detectar também, o elemento cobre. Cabe salientar que a técnica DRX é semiquantitativa, sendo baseada nas formas cristalinhas detectadas pelo *software* do Centro

Internacional de Dados para Difração de Raios X. Outras formas cristalinas e partes amorfas contidas na carepa po-

dem encontrar-se encobertas, devido à sobreposição com os picos atribuídos às formas do Fe, e, também, estar abaixo

do limite de susceptibilidade do método. A Figura 2 mostra o difratograma para a carepa de laminação.

Parâmetros	Resultado (%)	Parâmetros	Resultado (%)
Alumínio	0,007	Manganês	0,13
Cádmio	0,000002	Níquel	0,016
Cálcio	0,003	Silício	0,37
Chumbo	0,0008	Titânio	0,00062
Cobre	0,002	Zinco	0,003
Cromo	0,004	Óleos e Graxas	0,252
Magnésio	0,002	Umidade	0,08

Tabela 3  
Análise elementar, óleos e graxas e umidade da carepa de laminação.

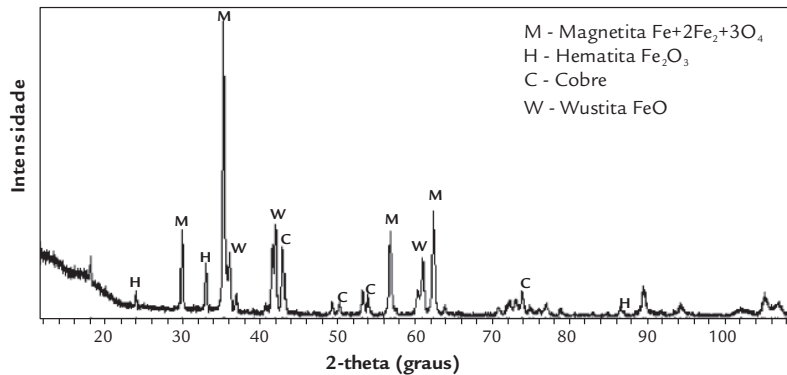


Figura 2  
Difratograma de Raio X da carepa de laminação.

### 3.2 Avaliação das propriedades do concreto

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos na produção dos concretos e a Tabela 5, os resultados dos ensaios

de resistência à compressão e absorção de água.

Na Figura 3, são apresentados os

diagramas de dosagem obtidos a partir da produção dos concretos e realização dos ensaios de resistência à compressão.

Traço	Teor de carepa (%)	Abatimento (mm)	H (%)	Relação água/cimento
1:3,5	0	110	10,03	0,51
1:5,0		110	9,58	0,63
1:6,5		110	9,58	0,80
1:3,5	10	105	10,79	0,49
1:5,0		105	9,81	0,60
1:6,5		100	9,78	0,75
1:3,5	25	115	11,20	0,53
1:5,0		105	10,60	0,67
1:6,5		110	10,60	0,84
1:3,5	40	110	11,40	0,55
1:5,0		105	10,45	0,68
1:6,5		120	10,87	0,90

Tabela 4  
Parâmetros de moldagem dos concretos produzidos.

Traço	Teor de carepa (%)	Resistência à compressão (MPa) *		Absorção de água (%)
		7 dias	28 dias	
1:3,5	0	24,8	33,5	4,01
1:5,0		16,6	24,1	4,67
1:6,5		10,2	15,2	6,34
1:3,5	10	19,9	29,2	7,34
1:5,0		14,9	22,5	7,91
1:6,5		9,1	13,6	8,03
1:3,5	25	16,0	25,9	7,31
1:5,0		10,4	16,8	8,84
1:6,5		5,6	9,4	8,95
1:3,5	40	17,7	22,7	4,50
1:5,0		12,0	15,2	5,69
1:6,5		7,2	8,3	7,33

\* Resultados potenciais (maior valor do par de corpos-de-prova).

Tabela 5  
Resistência à compressão e absorção de água dos concretos produzidos.

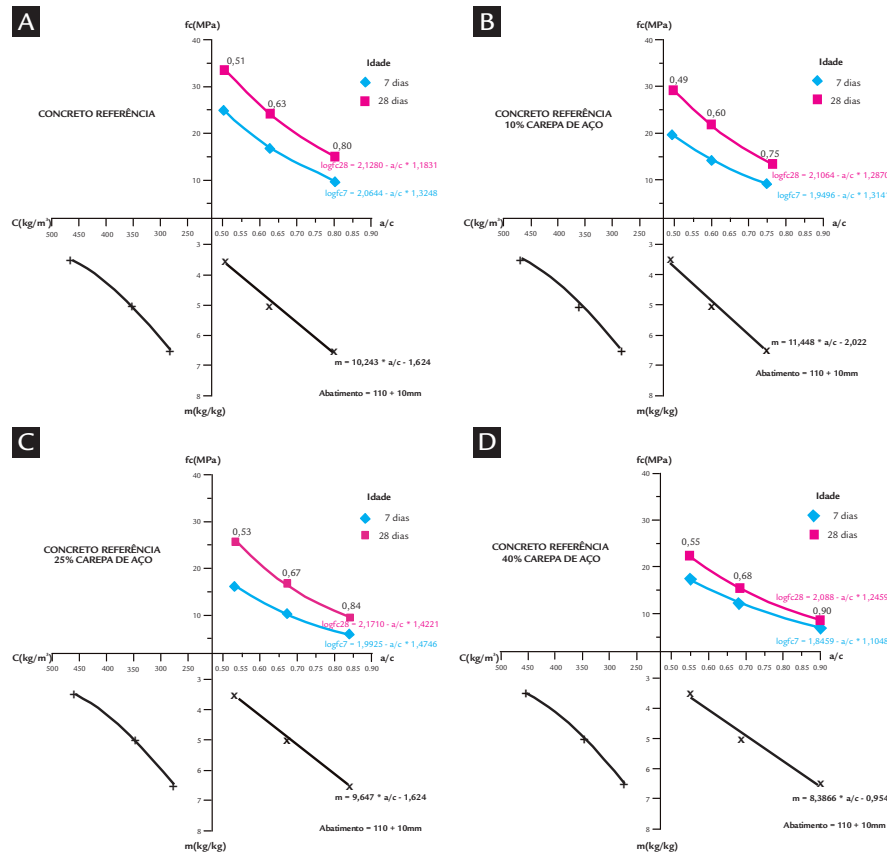


Figura 3  
Diagrama de dosagem:  
a) 0% de carepa de aço  
(concreto de referência),  
b) 10% de carepa de aço,  
c) 25% de carepa de aço e  
d) 40% de carepa de aço.

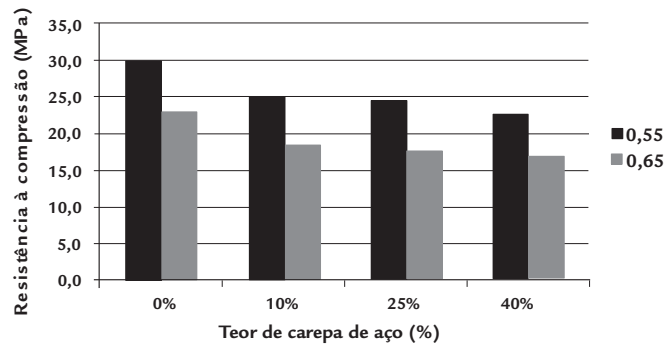


Figura 4  
Resistência à compressão -  
relações água/cimento 0,55 e 0,65.

A Figura 4 apresenta os resultados de resistência à compressão, determinados a partir dos diagramas de dosagem, para as relações água/cimento 0,55 e 0,65, pre-estabelecidas para comparação do desempenho dos concretos com os diferentes teores de carepa de aço analisados.

Na Figura 5, são apresentados os resultados da absorção de água para as relações água/cimento 0,55 e 0,65, determinados a partir das curvas de comportamento apresentadas na Tabela 6.

Os resultados mostram que a utilização de carepa de aço aumentou o teor

de água (H%) para a manutenção de um mesmo abatimento. A análise das curvas de comportamento indicou redução da resistência à compressão para concretos com relações água/cimento 0,55 e 0,65 e uma maior absorção de água, quando utilizada a carepa de aço em substituição

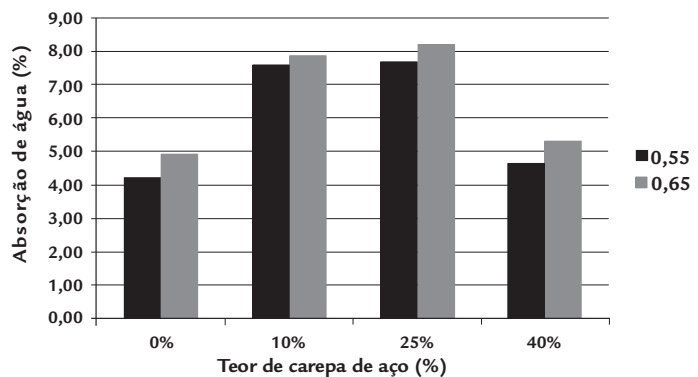


Figura 5  
Absorção de água - relações  
água/cimento 0,55 e 0,65.

Teor de carepa	Relação absorção x relação a/c
0%	$Abs = 1,753 \cdot \exp(1,5942 \cdot a/c)$
10%	$Abs = 6,3287 \cdot \exp(0,3312 \cdot a/c)$
25%	$Abs = 5,4194 \cdot \exp(0,6325 \cdot a/c)$
40%	$Abs = 2,167 \cdot \exp(1,384 \cdot a/c)$

Tabela 6

Relação entre a absorção de água e a relação água/cimento.

à areia natural.

Para concretos com relação água/cimento 0,55, com os teores de carepa 10%, 25% e 40%, a resistência à compressão diminuiu, respectivamente, 17%, 18% e 24%, em relação ao concreto de referência (redução média de 20%). A absorção de água aumentou, respectivamente, 80%, 82% e 10% em relação ao concreto de referência. Já os concretos com relação água/cimento 0,65 apresentaram com a substituição de 10%, 25% e 40% resistência à compressão, respectivamente, 19%, 23% e 26% menor em relação ao concreto de referência (redução média de 23%). Para essa mesma relação água/cimento, a substituição de 10%, 25% e 40% de areia natural por carepa de aço aumentou a absorção de água, respectivamente, em 59%, 66% e 8%.

Uma hipótese considerada para a

redução da resistência à compressão é a presença de óleos e graxas na carepa de aço (0,25% conforme Tabela 2), oriundos da laminação e lingotamento contínuo, que podem influenciar nas reações de hidratação do cimento Portland.

Já Goergen (2006), ao estudar o emprego de carepa de aço em concretos para confecção de peças pré-moldadas de pavimentação, concluiu que o resíduo melhorou em cerca de 10% a resistência à compressão dos concretos em relação ao concreto convencional, sem modificações relevantes na trabalhabilidade. No entanto, os traços utilizados, com e sem a carepa de aço, apresentam porções de materiais distintos. Al-Oitabi (2008) também verificou aumento de resistência à compressão aliada à redução da retração por secagem em argamassas de cimento Portland com carepa de aço

como agregado miúdo. Ainda, Almeida (2009), ao estudar a incorporação de carepa de aço, livre de óleo, para produção de blocos de concreto para alvenaria, verificou que os elementos com carepa apresentaram desempenho superior em relação aos blocos de concreto convencionais. No entanto, o autor constatou a formação de manchas ferruginosas na superfície dos blocos após exposição às intempéries. Prado et al. (2008) estudaram a utilização de carepa de aço, gerada durante o oxicorte do aço, em substituição ao agregado miúdo de concretos, para verificação do potencial de blindagem à radiação dos concretos produzidos com o agregado metálico. Os autores concluíram que o material estudado mostrou ser uma alternativa para blindagem de estabelecimentos de saúde com atividades de teleterapia.

#### 4. Conclusões

O desenvolvimento dessa pesquisa mostrou variação no desempenho do concreto de cimento Portland ao utilizar carepa como agregado miúdo. De acordo com os resultados, é possível concluir que:

- O emprego da carepa de aço aumentou a demanda de água para a manutenção da trabalhabilidade requerida.
- Concretos, tanto com relação a/c igual a 0,55, como com relação a/c igual a 0,65, apresentaram uma redu-

ção média na resistência à compressão de 20% e 23%, respectivamente, em relação ao concreto de referência.

- A absorção de água para concretos com relações a/c 0,55 e 0,65 apresentou um aumento médio de 57% e 44%, respectivamente, em relação ao concreto de referência.
- Para a confirmação do potencial de utilização da carepa de aço em materiais cimentícios, sejam concretos

ou argamassas, estudos adicionais devem ser realizados, visto os resultados obtidos na presente pesquisa indicarem a possível influência da contaminação por óleos ou graxas do resíduo no desempenho observado. Investigações com carepa livre de contaminação têm demonstrado a potencialidade do emprego desse resíduo em concretos, demonstrando ser uma alternativa de reciclagem.

#### 5. Agradecimentos

À ULBRA, pelo auxílio financeiro, à GERDAU Riograndense, pela doação da carepa de aço; à ENGEMIX

S.A., pela realização dos ensaios de resistência à compressão e à Fundação de Ciência e Tecnologia – CIENTEC,

pelos ensaios de massa específica dos agregados.

ALMEIDA, E. *Potencial de utilização do resíduo carepa de aço na fabricação de blocos de concreto*. Lajeado: Centro Universitário UNIVATES, 2009. 97p. (Trabalho de conclusão de curso).

AL-OTAIBI, S. Recycling Steel Mill Scale as Fine Aggregate in Cement Mortars. *European Journal of Scientific Research*, UK, v.24, n.3, p. 332-338, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto*. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM67: Concreto -*



- determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone*. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR10004: Resíduos sólidos - classificação*. Rio de Janeiro, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 248: Agregados - determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9778: Argamassa de concreto endurecido – determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5736: Cimento Portland pozolânico - especificação*. Rio de Janeiro, 1991.
- CUNHA, A. F., MOL, M. P. G., MARTINS, M. E., ASSIS, P. S. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. *Meta-lurgia & Materiais*, Ouro Preto, v. 59, n. 1, p. 111-116, 2006.
- GERDAU S.A. *Construindo com o aço o desenvolvimento sustentado*. Relatório anual de atividades. Sapucaia do Sul, 2003. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br>>. Acesso em: 10 de março de 2006.
- GOERGEN, D. A. *Utilização do resíduo carepa de aço na fabricação de bloco de concreto*. Lajeado: Centro Universitário UNIVATES, 2006. 75p. (Trabalho de conclusão de curso).
- HELENE, P., TERZIAN, P. *Manual de dosagem e controle do concreto*. São Paulo: Pini, 1992.
- LEVY, S. M. *Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria*. São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2001. 194p. (Tese de Doutorado em Engenharia).
- MARTINS, F. M. *Caracterização química e mineralógica de resíduos sólidos industriais minerais do Estado do Paraná*. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Paraná, 2006. 132p. (Dissertação de Mestrado em Química).
- MASUERO, A. B. *Estabilização das escórias de aciaria elétrica com vistas a sua utilização como substituição ao cimento*. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001. 285p. (Tese de Doutorado em Engenharia).
- MOURA, W. A. *Utilização de escória de cobre como adição e como agregado miúdo para concreto*. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 273p. (Tese de Doutorado em Engenharia Civil).
- OLIVEIRA, L. C. P. *Panorama da gestão de resíduos: evoluções e tendências*. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2004. (Trabalho apresentado no Workshop Gerenciamento de Resíduos Sólidos no Setor Minero-Metalúrgico).
- PRADO, M., PRADO, L., CARPENTER, D. E. O. S. Estudo do potencial de blindagem à radiação de concretos produzidos com agregado metálico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS. *Anais*. Porto de Galinhas: 2008.
- WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. (21.ed.). Washington: Apha, 2005.