

# UTILIZAÇÃO DA ESCÓRIA DE ALTO FORNO MOÍDA NO CONCRETO CONVENCIONAL E COMPACTADO COM ROLO

Alfredo Santos Liduário <sup>(1)</sup>

Luciana dos Anjos Farias <sup>(1)</sup>

Albéria Cavalcanti de Albuquerque <sup>(1)</sup>

Moacir Alexandre Souza de Andrade <sup>(1)</sup>

## Resumo

A aplicação da escória de alto forno no concreto convencional e compactado com rolo já vem sendo estudada estudada há alguns anos, e suas propriedades como material cimentício têm sido confirmadas por diversos pesquisadores. Neste trabalho foi avaliado o efeito da utilização da escória de alto forno nas propriedades do concreto convencional e compactado com rolo, dosados com diferentes teores de escória. As amostras foram analisadas quanto à resistência à compressão, permeabilidade, reatividade potencial e elevação adiabática da temperatura do concreto. Pôde-se verificar que, em todas as propriedades, os concretos com adição de escória apresentaram melhor desempenho em relação ao concreto de referência. Os benefícios da escória no concreto são obtidos em função de sua atividade pozzolânica e do efeito filler. Este último predomina no concreto compactado com rolo, que devido ao seu baixo consumo de cimento, necessita de materiais finos em sua composição, para melhorar a compacidade e trabalhabilidade.

**Palavras-chave:** Escória de alto forno; Concreto; CCR.

## Ground Blast Furnace Slag For Use In Conventional And Roller Compacted Concrete

## Abstract

The application of the ground Blast Furnace Slag in conventional and roller compacted concrete has been studied for years, and their properties as cement material have been confirmed by several researchers. In this paper, the effects of the use of different contents of blast furnace slag in the conventional and roller compacted concretes properties were evaluated. The samples were tested for strength resistance, permeability, alkali aggregate reactivity and adiabatic rise of the concrete's temperature. It was verified that, in all of the properties mentioned, the concretes with crushed blast furnace slag addition presented better results in relation to the reference concrete. The benefits of the crushed blast furnace slag added to the concrete are obtained in function of its pozzolanic activity and filler effect. The filler effect prevails in the roller compacted concrete, which due to its low cement consumption, needs fine materials in its composition in order to improve the compactness and workableness.

**Key-words:** Blast furnace slag; Concrete; Roller compacted concrete.

## 1 INTRODUÇÃO

A escória de alto forno é o subproduto da manufatura do ferro-gusa, que tem suas características químicas e cimentantes, proveniente dos fundentes adicionados à mistura. Além disso, no processo de resfriamento rápido, a escória solidifica numa forma vítrea tornando-se reativa.

A composição química da escória está ligada à qualidade do minério de ferro, à natureza do fundente, ao tipo de combustível (coque ou carvão vegetal) e ativador da redução e à viscosidade.

A NBR-5735/91 emprega a equação 1 para relacionar a composição da escória e suas propriedades hidráulicas, onde observa-se que quanto mais básica, mais hidráulica será a escória. As escórias brasileiras, utilizadas como material cimentício, apresentam em média 40% a 45% de CaO, 30% a 36% de SiO<sub>2</sub>, 12% a 17% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e 2 a 8% de MgO. (BATTAGIN *apud* ESPER, 1993<sup>(1)</sup>)

$$\frac{\text{CaO} + \text{Mg}}{\text{SiO}_2} + \text{Al}_2\text{O}_2 \quad \text{Equação 1}^{(2)}$$

<sup>(1)</sup> Engenheiros, FURNAS Centrais Elétricas S/A concreto@furnas.com.br

Segundo relato de Esper,<sup>(1)</sup> os primeiros registros das propriedades cimentícias da escória datam de 1774, por LORIOT. No entanto, grande impulso para seu aproveitamento foi dado em 1862, por LANGEN na Alemanha, com o desenvolvimento da granulação da escória na saída do alto forno. Somente em 1882 surgiu o primeiro cimento Portland com escória, na Alemanha, sendo o seu uso oficializado em 1909. No Brasil, o primeiro cimento Portland de Alto Forno foi produzido em 1952, pela Cimento Tupi S.A., em Volta Redonda. Seu emprego é normalizado pela NBR-5735/1980 – Cimento Portland de Alto-Forno-Especificação.<sup>(2)</sup>

A adição de escória em misturas de cimento Portland geralmente reduz a demanda de água e melhora a trabalhabilidade do concreto.<sup>(3,4)</sup> Os grãos de escória apresentam superfície limpa e lisa, apesar da forma angulosa, com planos de deslizamento que favorecem a trabalhabilidade, auxiliada também pela menor velocidade de hidratação (CALLEJA *apud* ESPER, 1993<sup>(1)</sup>). A exsudação do concreto é reduzida com o emprego de escória com elevada finura.<sup>(3)</sup>

O calor de hidratação diminui com o aumento do teor de escória, sendo significativo o decréscimo para 70% de adição. Entretanto, a resistência à compressão mantém-se a um nível adequado, principalmente para estruturas em concreto massa. Para outros teores de adição (85%), o calor aumenta com o aumento da relação água/aglomerante e com a finura da escória.<sup>(5,6)</sup> Nakamura, Sakai e Swamy <sup>(7)</sup> verificaram que o decréscimo da finura da escória retarda o pico da curva do calor de hidratação, diminuindo também o seu valor, entretanto, Sakai et al.<sup>(5)</sup> e Yurugi, Mizobuchi e Terauchi<sup>(13)</sup> relatam que a finura da escória parece não influenciar significativamente na elevação adiabática da temperatura do concreto.

## 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi conduzido conforme organograma da Figura 1.

### 2.1 Materiais

No estudo foram utilizados agregado graúdo dos tipos litológicos granito e metagruvaca, sendo as dimensões máximas carac-

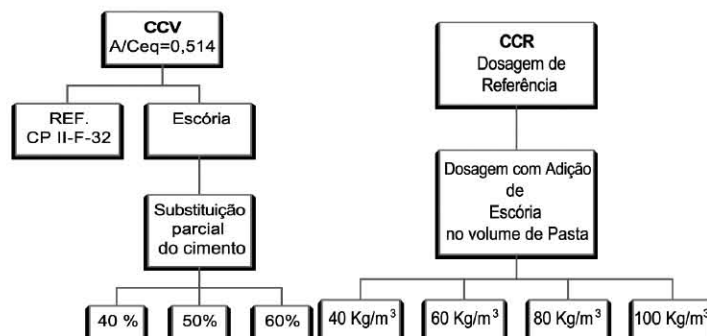


Figura 1. Programa experimental

Tabela 1. Dados dos Traços Estudados.

Dados	CCV		CCR	
	Granito	Metagruvaca	Granito	Metagruvaca
Relação cimento: agregado	1:4,73	1:6,06	1:22,77	1:21,21
(%) de Areia (em massa)	33,0	41,9	55,0	53,0
Relação água/cimento	0,514	0,514	1,55	1,55

Tabela 2. Caracterização das amostras de cimento e escória de alto forno

Materiais	I.A.P		Análise Química (%)							
	Cal	Cim	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Cimento CP II F 32	-	-	18,58	4,78	3,40	61,32	1,54	0,52	0,69	2,59
Escória Alto forno	14,2	92,1	33,65	12,61	0,19	40,01	8,44	0,21	0,55	0,80

I.A.P.Cal = Atividade Pozolânica com a Cal (NBR 5751/92 - > 6,0 MPa)

I.A.P.Cim = Atividade Pozolânica com o Cimento (NBR 5752/92 - > 75,0%)

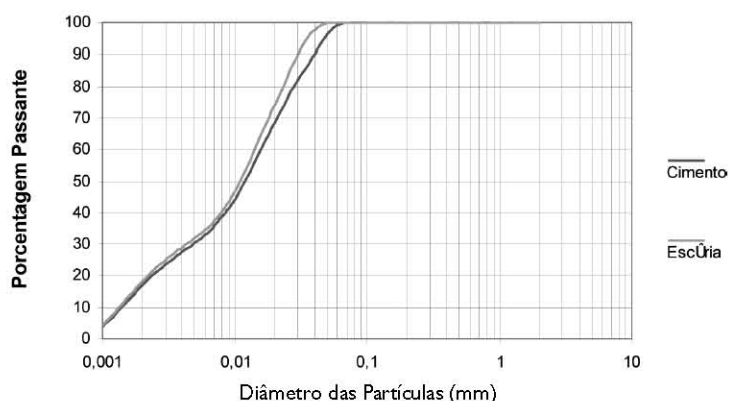


Figura 2. Granulometria a das amostras de cimento e escória de alto forno

terísticas de 50 mm para o concreto compactado com rolo (CCR) e 25 mm para o concreto convencional (CCV), areia artificial para o CCR e areia natural para o CCV, cimento Portland CP II F 32, escória de alto forno moída e aditivo plastificante e retardador de pega.

### 2.2 Caracterização dos Materiais

Na Tabela 2 e na Figura 2 estão apresentados os resultados dos ensaios de caracterização e a granulometria a laser do cimento e da escória utilizados.

### 3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1 Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram conduzidos conforme o método NBR 5739/94,<sup>(10)</sup> da ABNT, em corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 15 cm x 30 cm. Nas figuras 3 a 6 estão apresentados os resultados.

Observa-se que para os concretos convencionais, há um acréscimo de até 20 % na resistência dos concretos com escória, em relação ao concreto de referência. Considerando que parte do cimento foi substituída por escória, conclui-se que a escória contribui de forma efetiva na propriedade do concreto.

No caso do concreto compactado com rolo, as dosagens com adição de escória apresentaram acréscimos de até 400% em relação ao concreto de referência. Contudo, deve-se considerar que para o concreto compactado com rolo a escória foi adicionada ao volume de pasta. Esse fato faz com que o concreto aumente sua quantidade de material cimentício, melhorando a sua compactidade, e conseqüentemente sua resistência. Além disso, o concreto compactado com rolo tem a característica de ser um concreto de consistência seca e que necessita de materiais finos para melhor coesão. Portanto, um outro fator que pode ocorrer é o efeito filler da escória, que tem a capacidade de refinar os poros.

#### 3.2 Permeabilidade

A determinação do coeficiente de permeabilidade do concreto foi realizada pelo método de percolação da água sob

pressão. Nas Figuras 7 e 8 estão apresentados os resultados dos ensaios executados em dosagens de concreto convencional e concreto compactado com rolo, respectivamente.

Como já foi dito, o concreto compactado com rolo tem a necessidade de materiais finos para melhorar a coesão e refinar os poros. Pôde-se observar na Figura 8, que adição de escória proporcionou ao concreto uma redução significativa da permeabilidade, quando comparada com o concreto de referência.

#### 3.3 Reatividade Potencial

Os ensaios de reatividade potencial foram realizados combinando um cimento com alto teor de álcalis e substituições parciais de cimento por escória, comparando com uma referência sem substituição. Também foi utilizada areia artificial de cada tipo litológico empregado no estudo. O ensaio não foi realizado com o tipo litológico granito, uma vez que, apresentou um comportamento inócuo na referência, não necessitando a verificação da reatividade com substituições de escória.

As argamassas foram preparadas nas relações 1:2,25, conforme estabelecido no método de ensaio.<sup>(11)</sup> Na figura 9 estão apresentados os resultados.

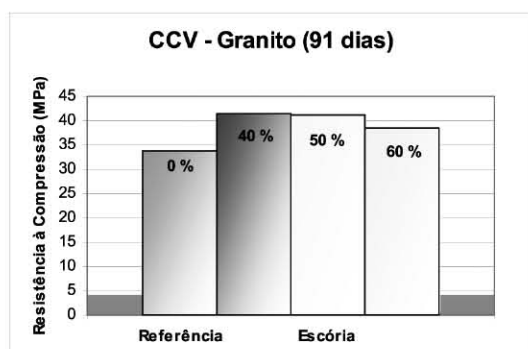


Figura 3. Resistência à Compressão – CCV – Granito (91 dias)

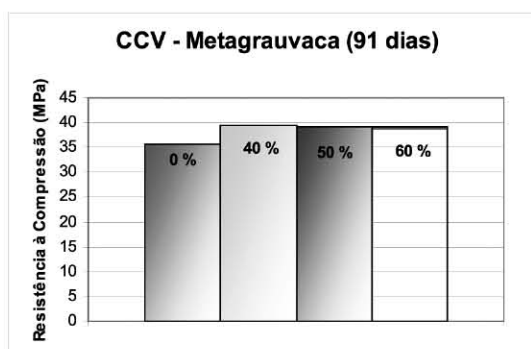


Figura 4. Resistência à Compressão – CCV – Metagrauvaca (91 dias)

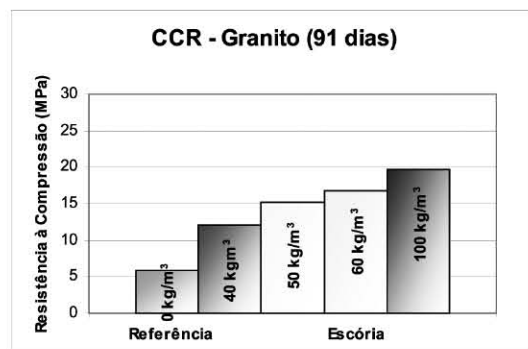


Figura 5. Resistência à Compressão – CCR – Granito (91 dias)

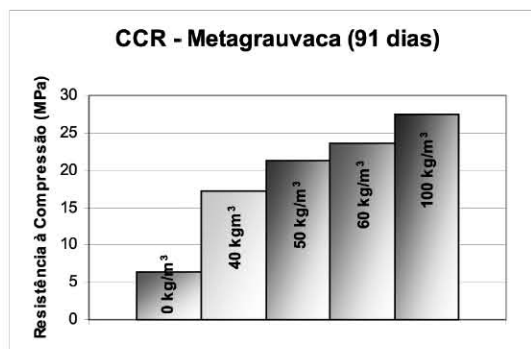


Figura 6. Resistência à Compressão – CCR – Metagrauvaca (91 dias)

É possível observar que a escória contribui para a redução da expansão, à medida que se aumenta o teor de substituição ao cimento. Isto também pode ser atribuído à quantidade de cimento retirada na substituição por escória. Mas, mesmo com a diminuição do cimento, o que deve ser levado em conta é o conjunto das melhorias nas propriedades do concreto. Segundo Neville,<sup>(4)</sup> são muito importantes os efeitos benéficos da escória de alto forno quando usada com agregados silicosos suspeitos de reatividade com álcalis ou com cimento Portland com teor de álcalis maior do que 1,0 %.

### 3.4 Elevação Adiabática da Temperatura do Concreto

O ensaio de elevação adiabática foi realizado segundo o método NBR 12819/93<sup>(12)</sup> da ABNT.

O conhecimento da elevação da temperatura do concreto, decorrente de reação exotérmica resultante da hidratação do cimento, nas construções massivas, só é possível através do conhecimento da elevação adiabática da temperatura.

O ensaio de elevação de temperatura foi realizado apenas para o concreto convencional com substituição parcial de 50 % de escória, no cimento, comparando com a dosagem de referência com consumo de cimento CP II F 32, de 380 kg/m<sup>3</sup>. Nas Figuras 10 e 11 estão apresentados os resultados obtidos.

De uma maneira geral, observa-se que a escória minimizou a elevação adiabática, principalmente nas primeiras idades. Isto pode ser atribuído à reação lenta da escória que depende da decomposição da fase vítrea pelos íons de hidroxila liberados durante a hidratação do cimento Portland.<sup>(4)</sup>

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se observar que para o concreto convencional os ganhos de resistência são menores que no concreto compactado com rolo. Mas, levando em conta que no concreto convencional, parte do cimento é substituído por escória, e que, no concreto compactado com rolo é aumentado o volume de pasta, fato este proporciona melhor compacidade ao concreto, e conseqüentemente melhoria nas propriedades.

Algumas propriedades, como reativi-

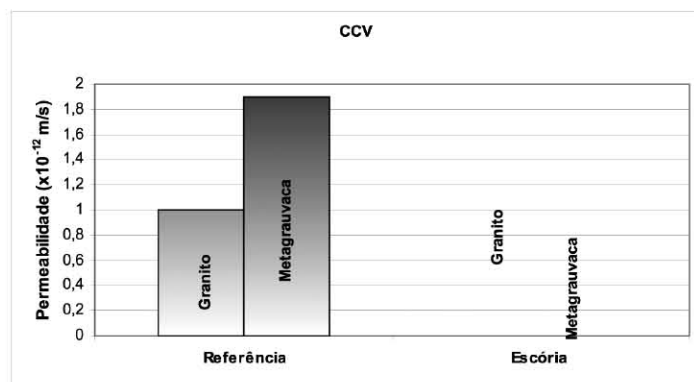


Figura 7. Permeabilidade do Concreto Convencional – Granito e Metagrauavaça.

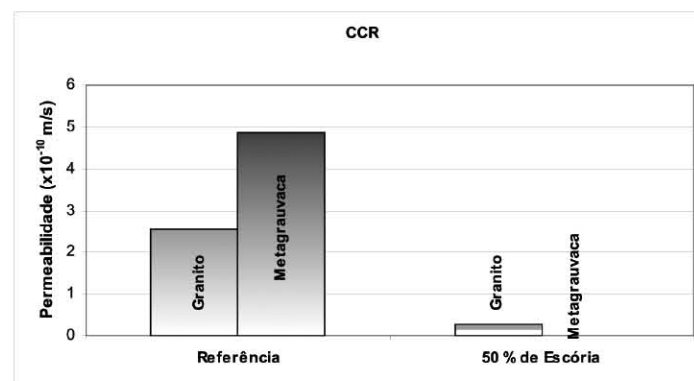


Figura 8. Permeabilidade do Concreto Compactado com Rolo – Granito e Metagrauavaça.

dade potencial e elevação adiabática da temperatura têm seus valores minimizados, não só pela redução da quantidade de cimento, mas pela substituição parcial deste por um material cuja composição química tem reduzido os teores dos elementos causadores da reatividade e da elevação da temperatura. Além disso, com a retirada parcial do cimento, a resistência à compressão e a permeabilidade também foram beneficiadas com a utilização da escória. Portanto, um material a ser colocado no concreto, deve trazer benefícios ao conjunto de propriedades.

A substituição parcial do cimento por escória pode diminuir o consumo de cimento, uma vez que, os concretos com substituição de escória apresentaram resistências superiores aos concretos de referência.

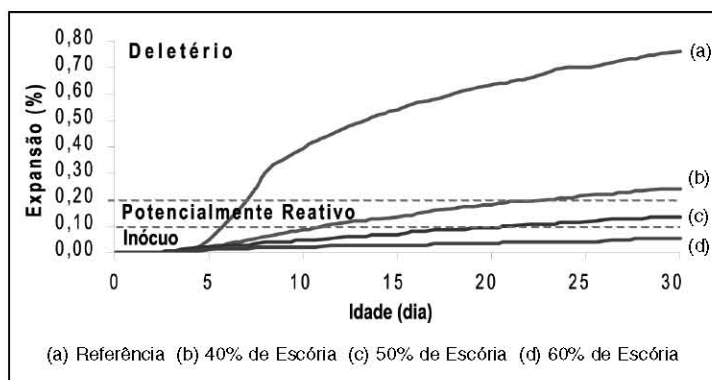


Figura 9. Reatividade Potencial Álcali – Agregado utilizando agregado Metagrauavaça

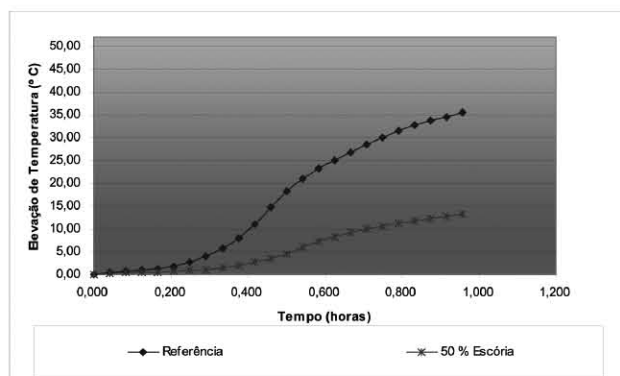


Figura 10. Elevação Adiabática nas primeiras horas até 1 dia de ensaio.

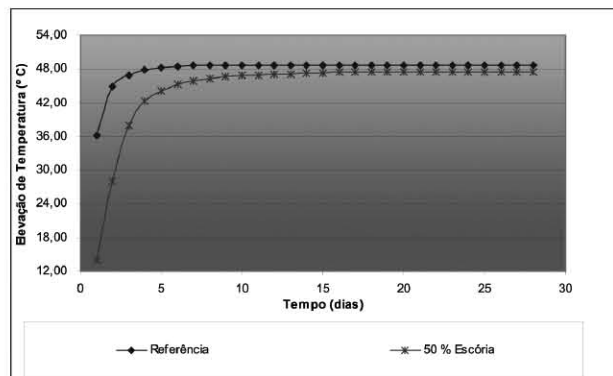


Figura 11. Elevação Adiabática a partir de 1 dia de ensaio até 28 dias.

## REFERÊNCIAS

1. ESPER, M. W. **Contribuição ao estudo de algumas propriedades do cimento Portland de alto-forno**. São Paulo, 1993, 140p. Dissertação – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro: 1991.
3. BAALBAKI, M.; SARKER, S. L.; AITCIN, P. C.; ISABELLE, H. Properties and microstructure of high-performance concretes containing silica fume, slag and fly ash. In: International Conference ON FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN COCRETE, 4., Istanbul, 1992. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1993. p. 921-942.
4. NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997. 828 p.
5. SAKAY, K.; WATANABE, H.; SUZUKI, M.; HAMAZAKI, K. Properties of granulated blast-furnace slag cement concrete. In: International Conference ON FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, 4., Istanbul, 1992. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1993. p. 1367-1383.
6. TOMISAWA, T. & FUJII, M. Effect of high fineness and large amounts of ground granulated blast furnace slag on properties and microstructure of slag cements. In: International Conference ON FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, 5., Winsconsin, 1995. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1995. p. 951-973.
7. NAKAMURA, N.; SAKAI, M.; SWAMY, R. N. Effect of slag fineness on the development of concrete strength and microstructure. In: International Conference ON FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, 4., Istanbul, 1992. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1993. p. 1343-1366.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5751**: Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica – Índice de atividade pozolânica com cal. Rio de Janeiro, 1992.
9. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5752**: Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland - Índice de atividade pozolânica com cimento. Rio de Janeiro, 1992.
10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ASTM C1260**: 2001: Test method for potential alkali reactivity of aggregates Mortar – Bar method (R). Wahington, 2001.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-12819**: Concreto e argamassa – Determinação da elevação adiabática da temperatura. Rio de Janeiro, 1993.
13. YURUGI, M.; MIZOBUCHI, T.; TERAUCHI, T. Utilization of blast-furnace slag and silica fume for controlling temperature rise in high-strength concrete. In: International Conference ON FLY ASH, SILICA FUME, SLAG, AND NATURAL POZZOLANS IN CONCRETE, 4., Istanbul, 1992. **Proceedings...** Detroit: American Concrete Institute, 1993. p. 1433-1450.

Recebido em: 24/02/05

Aceito em: 09/08/05

Proveniente de: CONGRESSO ANUAL DA ABM - INTERNACIONAL, 59., 2004, São Paulo - SP. São Paulo : ABM, 2004.