

III-240 - INFLUÊNCIA DA AÇÃO CONJUNTA CINZA VOLANTE E CINZA DE CASCA DE ARROZ IN NATURA NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Daiana de Souza Cázar

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Santa Maria. Mestre em Construção Civil e Preservação Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria. .

Antônio Luiz Guerra Gastaldini⁽¹⁾

Arquiteto pela Escola de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia. Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP.

Geraldo Cechella Isaia

Engenheiro Civil pela UFRGS. Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP.

Eder Claro Pedroso

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Santa Maria. Mestre em Construção Civil e Preservação Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria. .

Endereço⁽¹⁾: Rua Appel, 655 – Centro – Santa Maria - RS - CEP: 97015-030- Brasil - Tel: (55) 3220-8144 - e-mail: gastaldini@terra.com.br

RESUMO

A indústria da construção civil vem estudando a possibilidade da utilização de subprodutos industriais, como uma das ações para solucionar as questões ambientais, tendo em vista que os mesmos são gerados em grandes quantidades e na sua maioria sem destinação específica. No presente trabalho investiga-se a viabilidade de se utilizar a CCA residual, ao natural ou moída, acrescida de cinza volante, em concretos estruturais, em substituição parcial ao cimento Portland, a partir da análise de resistência à compressão do concreto. Justifica-se o uso da cinza volante, formando misturas ternárias, como a solução para mitigar a expansão gerada pela reação álcali-agregado (RAA) ou álcali-sílica (RAS). Foram investigadas seis misturas aglomerantes, duas composta com 100% cimento Portland do tipo CP II Z e CP II F, e outras quatro com CCA em teores de substituição de 15% in natura e moída. Adotou-se relações a/ag de 0,45; 0,55 e 0,65 e avaliou-se a resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos de 10cmx20cm. Os resultados obtidos na pesquisa confirmam que é viável utilizar a CCA residual, ao natural ou moída, como substituição parcial ao cimento Portland, em concretos para uso estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, Cinza de casca de arroz, cinza volante, resistência à compressão.

INTRODUÇÃO

A versatilidade do concreto não possui paralelo na construção civil na medida em que se podem fabricar elementos construtivos com variedade de formas, a baixo custo e com relativa facilidade. Esses atributos, associados à evolução da cadeia produtiva, ao advento dos aditivos químicos e a novos métodos de cálculo estrutural, tornaram-no o material de construção mais popular do mundo, tendo em vista que o concreto é utilizado nas mais diversas estruturas, de forma esteticamente agradável, em geral, com confiança e durabilidade.

Segundo Coutinho (1998), ao longo dos anos, criou-se um excesso de confiança no meio técnico o qual provocou um certo relaxamento com relação aos cuidados e requisitos inerentes a construção e a manutenção das estruturas de concreto. Essa afirmação é confirmada pelo fato de que, continuamente, são gastos grandes montantes em dinheiro com o reparo ou a reconstrução de estruturas de concreto com problemas de durabilidade, principalmente devido a uma deterioração prematura em serviço, agravada pela exposição a ambientes com elevada agressividade. Além disso, uma diminuição na durabilidade origina um problema de ordem ambiental haja vista que uma menor vida útil do material significa desperdício de matérias-primas, aumento da produção de resíduos e aumento nos consumos de energia e de recursos naturais limitados.

A diminuição da durabilidade não é o único fator, associado ao concreto, que origina problemas ambientais. Desde a obtenção das matérias-primas até os resíduos finais, gerados ao término da vida útil, o concreto responde por grandes impactos ao meio ambiente e dentre eles estão: o elevado consumo de energia, a geração de resíduos e a emissão de gases poluentes. Somente o gás carbônico (CO₂) emitido na produção do cimento Portland contribui com, aproximadamente, 5% do total que é emitido anualmente na atmosfera.

Talvez por isso, procurar soluções que prolonguem a vida útil das estruturas de concreto e minimizem o impacto ambiental gerado por sua cadeia produtiva, tenha se tornado, nos últimos anos, num dos grandes desafios para os pesquisadores e alvo de inúmeras pesquisas dentro do setor da construção civil. É imperativo que as questões que podem, potencialmente, diminuir a durabilidade das estruturas de concreto armado ou impactar o meio ambiente de maneira prejudicial, sejam corretamente identificadas e administradas durante as etapas de projeto e de execução. Neste sentido, a utilização de pozolanas provenientes de resíduos agro-industriais tem se mostrado como uma alternativa comprovadamente viável, aumentando consideravelmente o desempenho dos concretos.

Assim, os efeitos do emprego da cinza da casca do arroz (CCA), em concretos, vêm sendo estudados por muitos pesquisadores e, geralmente, as pesquisas demonstram que os concretos com adição de CCA possuem maior durabilidade e maior resistência mecânica que os concretos de referência. A quantidade de trabalhos relacionados à utilização da cinza e da casca do arroz é vasta. Contudo, a CCA in natura, sem beneficiamento, é pouco estudada. Os pesquisadores, geralmente, estudam os efeitos da adição de CCA beneficiada em concretos, ou seja, aquela que é obtida através de uma queima controlada. Segundo Rêgo (2002) o elevado custo agregado ao processo de beneficiamento da CCA tem inviabilizado que os bons resultados obtidos nas pesquisas cheguem efetivamente até o mercado Rêgo (2002). Isso é agravado pelo fato de que as cinzas da casca do arroz (CCAs) brasileiras, normalmente, são provenientes de queima sem o controle da temperatura.

Segundo Sensale & Dal Molin (2002), a obtenção das CCAs no Brasil e Uruguai, em grande maioria, faz-se por intermédio do resgate do resíduo acumulado no processo de secagem dos grãos nas indústrias beneficiadoras de arroz. Esse processo de queima produz cinzas com características bastante variadas (CCA residual), encontrando-se formas cristalinas de sílica (SiO₂) ao invés da sílica amorfa, altamente reativa, produzida no processo de queima controlada. Há certo preconceito no meio técnico quanto a CCA obtida a temperaturas elevadas sem que haja evidências de mau desempenho quando adicionadas a concretos e argamassas.

Como não há emprego para esse material, geralmente, é estocado a céu aberto ou acaba sendo lançado de forma clandestina ao meio ambiente, gerando contaminação do solo e dos mananciais. Dessa forma, fatalmente, mais um grave problema ambiental é gerado, sendo que no Brasil o problema toma proporções ainda maiores na medida em que o país figura entre os principais produtores de arroz do mundo. Assim, diante do panorama atual de desenvolvimento, é inadmissível descartar de forma insustentável um resíduo que, comprovadamente, aumenta o desempenho do concreto e que poderia auxiliar na sustentabilidade do concreto. Contudo tem-se constatado que quando utilizada sem moagem a substituição do cimento pela CCA tem provocado reação álcali-sílica o que pode ser contornada pela utilização conjunta de cinza volante.

Este trabalho teve por objetivo investigar a influência da cinza de casca de arroz in natura e cinza volante na resistência a compressão do concreto

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais utilizados

Foi utilizado dois tipos de cimento portland composto (CP II F e CP II Z) . A cinza volante foi proveniente de usina termoeletrica. A cinza de casca de arroz foi proveniente de uma cooperativa arroseira decorrente de queima sem controle de temperatura. A empresa utiliza desta queima apenas para secagem dos grãos armazenados em silos, sendo que, após a queima, a cinza é transportada por via úmida até seu destino final, o descarte a céu aberto. Esta cinza foi utilizada in natura e, também, para efeito de comparação, moída por 60 minutos em moinho de bolas.

Com o intuito de promover um melhor fechamento dos vazios presentes no concreto fresco e, desta forma, diminuir o consumo de pasta procedeu-se uma composição de agregados graúdos e miúdos com diferentes

dimensões máximas características de forma a obter-se máxima massa unitária. Assim, o agregado miúdo utilizado foi uma mistura de duas areias natural de origem quartzosa. Como agregado graúdo adotou-se uma mistura de brita nº.0 e nº.1 na proporção de 50% cada.

A consistência desejada nos diversos traços (80 ± 10 mm) foi atingida através do emprego de aditivo superplastificante à base de éter carboxílico modificado.

Ensaaios

Adotou-se relações água/aglomerante de 0,45, 0,55 e 0,65 e relação aglomerante /agregado 1:4,38; 1:5,87 e 1:7,38. O teor de argamassa em volume seco foi definido em 50%. Foram investigadas seis misturas aglomerantes, duas composta com 100% cimento Portland do tipo CP II Z e CP II F designadas REF e R respectivamente, e outras quatro com CCA em teores de substituição de 15% in natura e moída. Aquelas compostas com CP II Z mais 20% de cinza volante foram designadas 15CCAM e 15CCAN e aquelas compostas com cimento tipo CP II F e CCA designadas 15M e 15N respectivamente. Estes teores de substituição figuram dentre os teores empregados por outros autores.

Os ensaios de resistência à compressão axial foram realizados em corpos de prova de 10x20cm segundo prescrições da NBR 5738 e 5739.

Realizaram-se, também, estudos referentes à ordem de colocação e o tempo de mistura dos materiais que satisfizeram aos critérios de trabalhabilidade com a menor demanda de superplastificante. Devido às moldagens terem sido realizadas em período de temperatura ambiente baixa, fixou-se em 18° C a temperatura de moldagem. Para controlar a temperatura do concreto, a água de amassamento foi aquecida, conforme proposto por Mehta & Monteiro (1994).

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão axial aos 7, 28, 91 e 182 dias para as misturas investigadas são apresentados na Tabela 4.1 e Figura 4.1.

Como esperado, todas as misturas investigadas apresentaram um aumento em sua resistência à compressão axial com a diminuição da relação água/aglomerante e com o aumento do grau de hidratação.

Constata-se, a partir da observação das tabela 4.1 e da figura 4.1, que a mistura binária REF apresentou resistência ligeiramente inferior a R, somente aos 7 e 28 dias, para a relação a/ag 0,65. Nas demais idades e relações a/ag estudadas, a mistura REF mostrou-se superior a mistura R.

A mistura ternária 15 CCAM apresentou resistências muito próximas as da mistura REF. Isso revela que a moagem prévia da cinza de casca de arroz foi decisiva para o aumento da resistência à compressão, devido à menor dimensão das partículas, o que favoreceu a nucleação de compostos hidratados.

Observa-se que a mistura 15 CCAM apresentou resistências menores que a correspondente binária 15M, para a relação a/ag 0,65 aos 7, 28 e 91 dias e, aos 91 dias, para a relação a/ag 0,45. Nas demais relações a/ag e idades apresentou resistências superiores a mistura 15 M.

Nas misturas ternárias, compostas com cinza de casca de arroz moída, observa-se crescimento médio da resistência à compressão dos 7 para os 28 dias de 75% contra 101% para a cinza de casca de arroz ao natural.

Aos 182 dias, a mistura 15 CCAM superou a mistura de REF. A mistura CCAN apresentou resistências à compressão inferiores às misturas CCAM e REF, em todas as idades estudadas. Porém, aos 182 dias, as resistências de CCAN e REF aproximaram-se.

Tabela 4.1 Resultados de resistência à compressão

Mistura	a/ag	Resistência à compressão (MPa)			
		7	28	91	182
REF	0,45	36,3	48,0	54,0	56,0
	0,55	25,0	33,3	38,3	42,0
	0,65	17,0	23,8	29,3	31,0
15 CCAM	0,45	30,0	45,3	51,3	57,5
	0,55	25,0	39,0	43,7	48,0
	0,65	16,0	24,0	28,3	34,0
15 CCAN	0,45	25,0	35,3	43,7	49,0
	0,55	16,3	23,3	31,8	40,0
	0,65	9,3	16,3	21,7	28,5
R	0,45	27,4	42,2	43	-
	0,55	22,6	30,6	33,6	-
	0,65	18,8	24,3	28	-
15 M	0,45	29,2	43,6	53,1	-
	0,55	22,1	32,6	40,4	-
	0,65	18,9	27,2	33,4	-
15 N	0,45	29,8	37,7	50,5	-
	0,55	19,4	27,5	33,8	-
	0,65	16,1	23,6	31,9	-

As resistências obtidas aos 7, 28 e 91 dias pela mistura com CCA moída não superaram ou mantiveram-se muito próximas àquelas alcançadas pelo concreto de referência. O mesmo foi observado por Ismail e Waliuddin (1996), que estudaram o efeito da cinza de casca de arroz em concretos de alta resistência.

Utilizaram cinzas de casca de arroz com finuras diferentes, uma passante na peneira #200 e outra na #325, nos teores de substituição de 10%, 20% e 30%. As relações a/ag das misturas com CCA variaram de 0,30 a 0,36 (o teor de aditivo plastificante foi mantido constante, variando apenas a relação a/ag para se obter abatimentos semelhantes) e a da mistura de referência foi de 0,24. As amostras foram submetidas à cura úmida e ensaiadas à compressão axial aos 3, 7, 28 e 150 dias. Os autores concluíram que o teor ideal de substituição do cimento por CCA encontra-se entre 10% e 20%.

O contrário foi observado por Saraswathy e Song (2007), que investigaram misturas com 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% e 30% de CCA, com relação a/ag igual a 0,53. Em todas as idades de ensaio (7, 14 e 28 dias) a mistura com 15% CCA obteve resistência à compressão superior a encontrada para a mistura de referência.

Da mesma forma, Ganesan, Rajagopal e Thangavel (2008) estudaram misturas com teores de CCA de 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 35%, relação a/ag igual a 0,53. Para todas as idades de ensaio (1, 3, 7 e 28 dias) a mistura com 15% CCA obteve resistência à compressão maior do que a encontrada para a mistura de referência. Este comportamento inverteu-se a partir do teor de substituição de 30% CCA.

Zang e Malhotra (1996) investigaram misturas com 0% e 10% de CCA, e 10% de sílica ativa, relação a/ag igual a 0,40. A 1, 3, 7, 28, 90 e 180 dias, a resistência à compressão do concreto com CCA foi superior a do concreto com 0% de CCA. Feng et al (2004) observaram o mesmo comportamento.

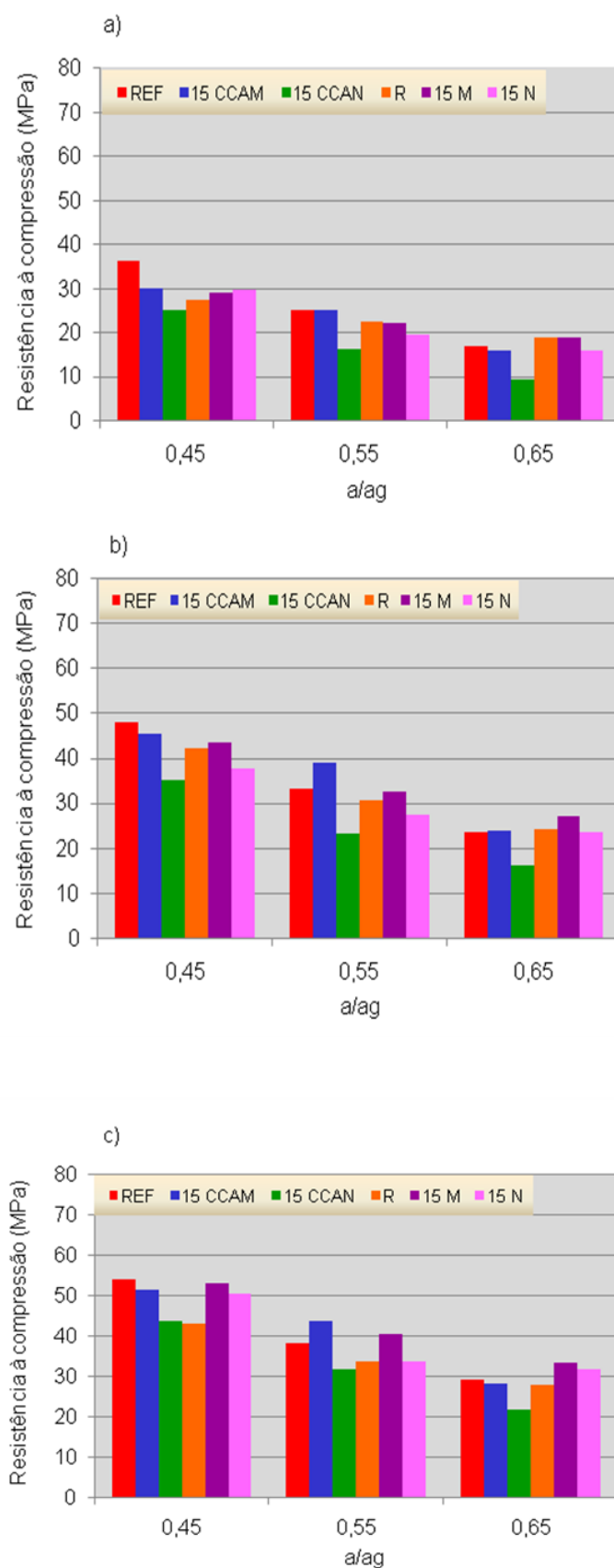


Figura 4.1 Resistência à compressão versus relação a/ag aos a) 7 dias, b) 28 dias, c) 91 dias.

Do mesmo modo, Nehdi, Duquette e Damatty (2003) estudaram três teores de substituição de CCA moída, 7,5%, 10% e 12,5%, e dois teores de substituição de CCA ao natural, 7,5% e 10%. A relação a/ag foi de 0,40. Aos 28 dias todas as misturas obtiveram resistência à compressão superior à mistura de referência, até mesmo as misturas com CCA ao natural, ao contrário do que foi observado na presente pesquisa.

Chindaprasirt e Rukzon (2008) estudaram a resistência de argamassas feitas com misturas ternárias de cimento Portland, cinza de casca de arroz e cinza volante, com relação água/aglomerante = 0,50. Os resultados revelaram que, em idades mais avançadas, misturas ternárias com baixo nível de substituição (10% CCA + 10% CV) dão origem a argamassas com resistências maiores que a mistura com 100% CP.

Os autores afirmam que a incorporação da CV produz os efeitos filler e de dispersão e, também, aumenta a nucleação e precipitação das partículas de cimento. Segundo os pesquisadores, nesse nível de substituição do cimento de até 20%, os efeitos filler e de dispersão podem compensar a redução da resistência devido à diminuição do cimento Portland. Asseguram que o uso da CCA também produz o efeito filler devido à menor dimensão de sua partícula. Já o efeito de dispersão não foi relatado para a CCA. No entanto, sua reatividade é alta devido à sua grande área superficial.

Coutinho (2003) pesquisou cinco misturas aglomerantes, sendo uma composta com 100% de cimento CEM tipo II 32,5 (em conformidade com as Normas Européias), uma com sílica ativa em teor de substituição de 10% e outras três com cinza de casca de arroz em teores de substituição de 10%, 15% e 20%. A relação água/aglomerante foi 0,43. Aos 80 dias, os concretos com CCA atingiram resistências maiores que o concreto de referência e o concreto com sílica ativa. O concreto composto com 20% CCA apresentou valor de resistência à compressão 22,5% superior a do concreto de referência.

Sensale (2006) estudou concretos com dois tipos de CCA. Uma CCA residual de uma indústria de moagem, no Uruguai, e outra produzida por queima controlada, dos Estados Unidos. Os teores de substituição foram 0%, 10% e 20%. E relações água/aglomerante iguais a 0,32; 0,40 e 0,50. A CCA residual proporcionou um efeito positivo na resistência à compressão nas primeiras idades, mas a longo prazo, o comportamento da CCA produzida com queima controlada foi mais significativo. Assim, aos 7 e 28 dias, para as relações a/ag 0,32 e 0,40, somente os concretos com 10% de CCA uruguaia superaram a resistência do concreto de referência. Já na idade de 28 dias, para relação a/ag 0,50, os concretos com 20% CCA uruguaia, 10 e 20% CCA americana revelaram uma resistência à compressão superior a do concreto com 100% de cimento. Aos 91 dias, todos os concretos com CCA apresentaram resistência à compressão superior ao concreto sem adição de CCA, com exceção do concreto com 10% de CCA uruguaia, que apresentou resistência à compressão praticamente igual.

Possan, Venquiaruto e Dal Molin (2007) investigaram a influência do tempo de moagem e o teor de adição de CCA na resistência à compressão do concreto. O tempo de moagem foi de uma hora e quatro horas. Teores de substituição de CCA de 0%, 25% e 50%, com relações a/ag iguais a 0,35; 0,50 e 0,65. Os concretos foram ensaiados aos 91 dias, mostrando que concretos com substituição de 25 e 50% de cimento por CCA, moídos por quatro horas, atingiram praticamente a mesma resistência, que foi maior entre todos os concretos mostrando que em relação à resistência, a moagem da CCA é compensatória.

Ferreira (2003) observou, em todas as idades de ensaio (7, 28, 91 e 182 dias), valores de resistência à compressão de concretos com CCA superiores aos obtidos pelo concreto de referência, concordando com os resultados da presente pesquisa, no que diz respeito ao uso de cinza de casca de arroz moída.

CONCLUSÕES

Numa comparação direta entre a CCA natural versus a CCA moída, constata-se que os concretos com a CCA moída apresentaram desempenho superior aos concretos com CCA in natura. Para o teor de substituição adotado, 15%, a mistura moída apresentou resistência à compressão em média 9,3% superior a da mistura ao natural, aos 91 dias para o CII F e 26,8% para o CII Z.

Constata-se que é viável tecnicamente a utilização da CCA moída ou in natura no teor de 15%. A constatação desta viabilidade representa uma alternativa sustentável para o aproveitamento de um resíduo que até agora vem sendo descartado de forma prejudicial ao meio ambiente. Além disso, a descoberta de que mesmo a CCA in natura, que não sofreu nenhum tipo de beneficiamento, pode ser utilizada em baixos teores, representa um

avanço significativo para o setor produtivo, possibilitando que se agregue mais valor aos concretos produzidos na medida em que há um menor consumo de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHINDAPRASIRT, P.; RUKSON, S. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Construction and Building Materials*, v.22, p. 1601-1606, 2008.
2. COUTINHO, M. J. S. Melhoria da Durabilidade dos Betões por Tratamento de Cofragem. 1998. Tese (Doutorado). Faculdade de Economia da Universidade do Porto. Cidade do Porto, 1998.
3. COUTINHO, J. S. Cinza de casca de arroz portuguesa – Ensaio de laboratório. In: 45º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO. Anais. Vitória, 2003. IBRACON, São Paulo, 2003.
4. FENG, Q.; YAMAMICHI, H.; SHOYA, M.; SUGITA, S. Study on the pozzolanic properties of Rice husk ash by hydrochloric acid pretreatment. *Cement and Concrete Research*, V. 34, p.521-526, 2004.
5. FERREIRA, R. B. Influência das adições minerais nas características do concreto de cobrimento e seu efeito na corrosão de armadura induzida por cloretos. Goiânia. 2003. 224p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.
6. GANESAN, K.; RAJAGOPAL, K.; THANGAVEL, K. Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. *Construction and Building Materials*, v.22, p. 1675-1683, 2008.
7. ISMAIL, M. S.; WALIUDDIN, A. M. Effect of rice husk ash on high strength concrete. *Construction and Building Materials*, v.10, nº 7, p. 521-526, 1996.
8. MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. Tradução de Paulo Helene et al. 2ª ed. São Paulo, IBRACON, 2008. 634p.
9. NEHDI, M.; DUQUETTE, J.; DAMATTY, AEI. Performance of rice husk ash produced using a new technology as a mineral admixture in concrete. *Cement Concrete Research*, v. 33, p.1203-1210, 2003.
10. POSSAN, E.; VENQUIARUTO, S. D.; DAL MOLIN, D. C. C. Adição de cinza de casca de arroz no concreto: benefícios de durabilidade. VI Encontro Tecnológico da Engenharia Civil e Arquitetura. ENTECA, 2007.
11. SARASWATHY, V. & SONG, H-W. Corrosion performance of rice husk ash blended concrete. *Construction and Building Materials*. 2006.
12. REGO, J. H. S. ; FIGUEIREDO, E. P.; NEPOMUCENO, A. A. A utilização da cinza de casca de arroz residual (CCA residual) como adição mineral ao cimento em concretos. In: 44º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO. Anais. São Paulo: IBRACON, 2002.
13. SENSALÉ, G. R.; DAL MOLIN, D. C. C. Estudo comparativo entre as propriedades mecânicas e de durabilidade de concretos de alta resistência e convencionais com cinza de casca de arroz. In: 44º CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO. Anais. São Paulo, 2002. IBRACON. São Paulo, 2002.
14. SENSALÉ, G. R. Strength development of concrete with rice-husk ash. *Cement and Concrete Composites*, v.28, p. 158-160, 2006.
15. ZHANG, M.; MALHOTRA, V. M. High-performance concrete incorporating Rice husk ash as a supplementary cementing material. *ACI Materials Journal*, v.93, nº 6, p. 629-636, 1996.