

## Efeitos da sílica ativa e do resíduo da queima da casca de arroz nos tempos de pega de pastas de cimento Portland

Taís Gomes (Universidade Federal de Santa Maria) tais.go3@gmail.com

Diego da Luz Adoma (Universidade Federal de Santa Maria) eng.diegoadoma@gmail.com

### Resumo:

A crescente preocupação com a sustentabilidade resultou em uma busca por materiais alternativos para que a indústria do cimento reduza seus impactos ambientais e se alcance uma maior durabilidade das estruturas com menores custos. Ao se substituir parcialmente o cimento por alguma adição mineral, alterações na microestrutura e nas reações de hidratação dos materiais ocorrem, sendo imprescindível, então, avaliar seu desempenho. Baseado nesta premissa, o presente trabalho propõe analisar os efeitos da incorporação de cinzas de casca de arroz de baixo teor de carbono grafítico (CCA), procedente da indústria Geradora de Energia Elétrica Alegrete/RS, e de sílica ativa (SA) nos tempos de início e fim de pega de pastas de cimento. Para tal, foram moldadas pastas com diferentes teores de CCA (5, 10, 20 e 30%) e SA (5, e 10%), bem como uma amostra de referência contendo 100% de Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CP V-ARI). Foram adotadas três relações de a/ag (0,35; 0,50 e 0,65). À medida que os teores de CCA e SA aumentaram nas pastas, percebeu-se uma redução nos tempos de início e fim de pega em comparação com a pasta de referência, e maiores intervalos entre esses tempos (maiores períodos de aceleração). A grande área de superfície específica e quantidade de sílica amorfa (>90%) das partículas de CCA e SA fazem com que as mesmas reajam de forma semelhante, rápida e intensamente com os demais produtos de hidratação, acelerando a hidratação das pastas e sua pega.

**Palavras chave:** Pega, cinza de casca de arroz, sílica ativa.

## Effects of silica fume and residues from the burning of rice husk on the setting time of Portland cement pastes

### Abstract

Growing concern for sustainability has resulted in a search for alternative materials for the cement industry to reduce its environmental impacts and achieve greater durability of structures at lower costs. By partially replacing the cement with some mineral addition, changes in the microstructure and in the reactions of hydration of the materials occur, being essential, then, to evaluate its performance. Based on this premise, the present work proposes to analyze the effects of the incorporation of low graphite carbon rice husk ash (RHA) from the Electricity Generator Alegrete/RS industry, and silica fume (SF) on the start and end of setting time of cement pastes. For this, pastes with different RHA (5, 10, 20 and 30%) and SF (5, and 10%) contents were molded (in cylindrical specimens of Ø4x8cm), as well as a reference sample containing 100 % Initial High Strength Portland Cement (CP V-ARI). Three ratios of w/b (0.35, 0.50 and 0.65) were adopted. As the RHA and SF contents increased in the pastes, there was a reduction in the start and end of setting times compared to the reference paste, and greater gaps between these times (greater acceleration periods). The large specific surface area and amount of amorphous silica (> 90%) of the RHA and SF particles make them react similarly, rapidly and intensely with the other hydration products, accelerating the hydration of the pastes and their setting time.

**Key-words:** Setting time, rice husk ash, silica fume.

## **1. Introdução**

O século XX foi caracterizado pelo intenso crescimento populacional, que resultou em um processo acelerado de urbanização. Em consequência, surgiu uma enorme necessidade de infraestrutura (moradia, água, esgoto, gás, eletricidade, transporte, educação, saúde, entre outros), que precisou ser suprida pela indústria da construção civil, resultando no maior consumo de recursos naturais e maior geração de resíduos (ISAIA, 2010).

O concreto, deste modo, se tornou o segundo material mais utilizado pelo homem, perdendo apenas para a água. Suas vantagens derivam de seu baixo custo com elevado desempenho, das propriedades obtidas quando utilizado em conjunto com o aço, da sua facilidade de emprego, podendo ser moldado em várias formas e tamanhos, e da considerável disponibilidade global de suas matérias-primas. O concreto permite a execução de estruturas em ambientes com diferentes graus de agressividade, apresentando durabilidade ao mesmo tempo em que apresenta grande capacidade de resistir a esforços mecânicos (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

O principal componente do concreto é o cimento Portland. De acordo com o 11th Global Cement Report, relatório publicado pela International Cement Review, o consumo mundial de cimento Portland atingiu 4 bilhões de toneladas no ano de 2014 (INTERNACIONAL CEMENT REVIEW, 2015). No mesmo ano, o consumo de cimento Portland no Brasil, de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (SNIC, 2015), superou os 71,2 milhões de toneladas, colocando o país como o 4º maior consumidor mundial de cimento, atrás apenas de China, Índia e EUA.

Uwasu, Hara e Yabar (2014) destacam que os processos envolvidos na produção do cimento, os quais vão desde a exploração e transporte das matérias-primas até a moagem e queima das mesmas em fornos de altas temperaturas, geram um impacto ambiental muito grande. A indústria de cimento consome grandes quantidades de energia e de recursos naturais e é responsável, ainda, pela emissão de gases poluentes, como, por exemplo, o CO<sub>2</sub>.

A substituição parcial do cimento por adições minerais é uma das medidas que podem ser utilizadas na redução dos referidos impactos ambientais. García-Gusano et al. (2015) estudaram o uso de adições minerais como substituição parcial do clínquer e concluíram que podem ser obtidas reduções de até 12% na emissão de CO<sub>2</sub> pela indústria do cimento. Além disso, os autores relataram que outros impactos ambientais, tais como toxicidade humana e acidificação e eutrofização das águas, também podem ser reduzidos em torno de 10% pelo uso de adições minerais no concreto.

O emprego de adições minerais pode ser, ainda, uma solução para a disposição final de resíduos potencialmente poluidores do meio ambiente. Além disso, permitem a redução de custos, por meio da substituição de parte do clínquer por um resíduo que seria descartado. Por fim, essas adições podem trazer ganhos de resistência e aumentar a durabilidade do concreto, permitindo, inclusive, a produção de concretos de alto e ultra alto desempenho (DAL MOLIN, 2011).

### **1.1. Sílica ativa e cinza de casca de arroz**

Cascas de arroz são as carapaças produzidas durante a operação de beneficiamento do arroz colhido e representam um grande problema de armazenamento para os moinhos de arroz,

devido ao seu alto volume. Cada tonelada de arroz colhido produz cerca de 200 kg de casca que, após queimada, produz aproximadamente 40 kg de cinza (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A casca de arroz possui elevado teor de sílica que, quando queimado lentamente com temperaturas entre 500°C e 700°C, resulta em material amorfo, com estrutura porosa e elevada área de superfície específica (NEVILLE; BROOKS, 2013).

A sílica ativa consiste em um resíduo proveniente da produção de silício ou ligas de ferro-silício, obtido a partir de quartzo de alta pureza a temperaturas de 2000°C e carvão mineral em fornos elétricos de arco submerso, conforme processo mostrado no esquema da Figura 1. O  $\text{SiO}_2$ , expelido na forma de gás, se oxida e condensa na forma de partículas esféricas extremamente finas de sílica amorfa.

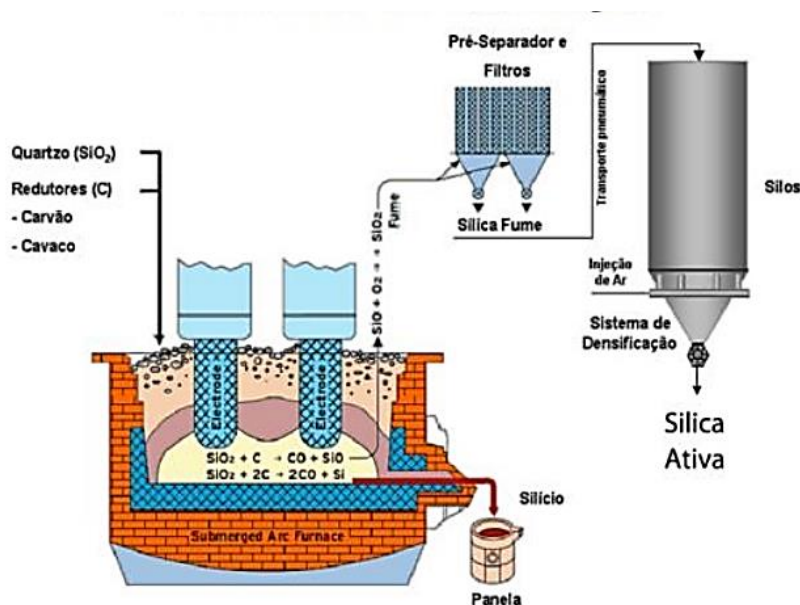


Figura 1 – Esquema de obtenção da sílica ativa (TECNOSIL, 2017)

## 1.2. Pega

As adições minerais promovem diversas alterações físicas e químicas nas propriedades do concreto como, por exemplo, na pega. A pega pode ser definida como o enrijecimento da pasta de cimento quando esta passa do estado fluido para o estado rígido, constituindo uma manifestação física da evolução de processos químicos que ocorrem no interior da pasta. O início da pega representa o ponto em que a pasta deixa de ser trabalhável, e marca o tempo limite para que as etapas de transporte, lançamento e adensamento do concreto sejam concluídas. O tempo que leva para a pasta se solidificar completamente consiste no tempo de fim de pega (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Neville e Brooks (2013) destacam que a hidratação do  $\text{C}_3\text{A}$  e  $\text{C}_3\text{S}$  é a principal responsável pela pega, possuindo, como consequência, o aumento da temperatura da pasta de cimento. Enquanto os aluminatos são os responsáveis pelo início do enrijecimento e da pega na pasta de cimento, os silicatos são os que determinam as características de endurecimento. O início de pega coincide com a retomada do processo de hidratação (período de aceleração) caracterizado pela evolução da produção de C-S-H, CH e etringita, e está relacionado a uma rápida elevação da temperatura da pasta de cimento. Já o fim de pega corresponde ao pico de temperatura. Uma maior temperatura da massa de concreto pode levar à fissuração.

Os tempos de início e fim de pega são determinados por meio do aparelho de Vicat, seguindo os procedimentos prescritos pela ABNT (NBR 16607: 2017). O tempo de início de pega corresponde ao período transcorrido desde que a água entre em contato com o cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetra até uma distância de  $(6 \pm 2)$  mm da placa de base. O final de pega corresponde ao período transcorrido desde que a água entra em contato com o cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetra 0,5 mm na pasta.

A ASTM C 191 determina que o tempo de início de pega não pode ser inferior a 45 minutos e o que o tempo de fim de pega não pode ser superior a 375 min (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Para o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI), a NBR 5733:1991 determina que o tempo de início de pega deve ser maior ou igual a 1h, e que o tempo de fim de pega deve ser menor ou igual a 10h.

Diferentes adições minerais podem gerar variados efeitos nas reações de hidratação, promovendo, assim, alterações nos tempos de pega. Pouey e Dal Molin (2002) e Wild, Khatib e Jones (1996) explicam que algumas pozolanas - como a sílica ativa, a metacaulinita e a cinza de casca de arroz - são denominadas pozolanas de alta reatividade, em função do alto teor de materiais amorfos ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 90\%$ ) e da elevada finura das suas partículas, fatores estes que promovem a aceleração da hidratação do cimento nas idades iniciais.

## **2. Materiais e Métodos**

Com o objetivo de avaliar os efeitos da cinza de casca de arroz de baixo teor de carbono grafítico e da sílica ativa nos tempos inicial e final de pega, foram realizadas as seguintes misturas: de referência (REF), tendo como aglomerante apenas o cimento CPV-ARI; misturas contendo 5, 10, 20, e 30% de cinza de casca de arroz (CCA) de baixo teor de carbono grafítico em substituição parcial ao cimento Portland; e misturas contendo 5, e 10% de sílica ativa (SA) em substituição parcial ao cimento Portland. Foram adotadas três relações a/ag: 0.35, 0.50 e 0.65.

Os materiais utilizados no estudo foram os que seguem:

- Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) em conformidade com a NBR 5733 (ABNT, 1991);
- Cinza de casca de arroz (CCA) com baixo teor de carbono grafítico: procedente da indústria Geradora de Energia Elétrica Alegrete/RS (GEEA). A cinza foi seca em estufa a 110°C por 24h e depois moída durante 1h no moinho de bolas do Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da UFSM;
- Sílica ativa (SA): proveniente de fornecedor nacional.
- Água: a água utilizada na moldagem dos corpos de prova é proveniente do reservatório da UFSM, alimentado por poços artesianos. Na realização dos ensaios, também foi usada água destilada e deionizada, para limpeza das vidrarias e ensaios propriamente ditos.

Os materiais secos foram, inicialmente, pesados e misturados em um recipiente fechado, de modo a ocorrer a total homogeneização do cimento com a CCA e a SA.

Para a mistura das pastas foi utilizado um agitador mecânico, modelo RW20 digital, por tempo total de três minutos, sendo: um minuto de agitação a baixa rotação (E500rpm) com pulverização simultânea da massa seca sobre a água de amassamento e, em seguida, dois minutos de agitação com rotação mais elevada (E1000rpm). O ensaio foi em sala fechada e climatizada de forma a não permitir trocas de calor com o meio externo.

O ensaio para determinação da consistência normal das pastas seguiu os procedimentos recomendados pela ABNT NM 43: 2003, visto que, na época da realização do ensaio, a nova norma de determinação da pasta de consistência normal, a NBR16606: 2017, ainda não estava em vigor. O que mudou com a nova norma foi apenas o tempo de raspagem no momento da mistura que passou de 15s para 60s. Adotando uma massa seca de 500g, a pasta de consistência normal foi preparada com uma quantidade de água suficiente para lhe proporcionar uma consistência padrão. Ela foi considerada normal quando a sonda de Tetmajer do aparelho de Vicat penetrou na pasta até uma distância de  $(6 \pm 1)$  mm da placa base aos 30s do instante em que foi solta. O valor do ensaio será apresentado em termos de relação a/ag. Indica o quanto a massa seca irá demandar de água para produzir um concreto trabalhável.

Após a determinação da consistência normal de cada uma das misturas, o molde contendo a pasta foi virado e levado para câmara úmida com dimensões adequadas, capaz de manter a temperatura do ar ambiente no intervalo de  $(20 \pm 2)$  °C e a umidade relativa do ar não menor que 90%, onde foram feitas as leituras com a agulha de Vicat a fim de determinar os tempos de início e fim de pega. Novamente, a norma utilizada para determinação dos tempos de pega foi a NBR NM 65:2003, visto que a NBR 16607:2017 ainda não estava em vigor.

A determinação dos tempos de pega está associada à densificação da pasta, que se torna menos viscosa perdendo a trabalhabilidade com a passagem do estado fresco para o estado endurecido. O tempo de início de pega corresponde ao período transcorrido desde que a água é adicionada ao cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetrou até uma distância de  $(4 \pm 1)$  mm da placa de base. O final de pega corresponde ao período transcorrido desde que a água entra em contato com o cimento até o momento em que a agulha de Vicat penetrou apenas 0,5 mm na pasta. Pela nova norma (NBR 16607:2017) a penetração da agulha de Vicat requerida para o início de pega seria de  $(6 \pm 2)$  mm).

### **3. Análise e discussão dos resultados**

A determinação do tempo de início e fim de pega das pastas foi realizada definindo, inicialmente, o teor de água para uma pasta de consistência normal. Os resultados de consistência normal obtidos estão apresentados na Tabela 1.

| Pasta  | a/ag | Tempo de pega |          |           |
|--------|------|---------------|----------|-----------|
|        |      | Início        | Fim      | Intervalo |
| REF    | 0,24 | 2h 35min      | 3h 35min | 1h        |
| 5% CA  | 0,26 | 2h 20min      | 3h 35min | 1h 15min  |
| 10%CA  | 0,27 | 2h            | 3h 30min | 1h 30min  |
| 20% CA | 0,30 | 1h 55min      | 3h 30min | 1h 35min  |
| 30% CA | 0,34 | 1h 45min      | 3h 40min | 1h 55min  |
| 5% SA  | 0,26 | 1h 55min      | 3h 10min | 1h 15min  |
| 10% SA | 0,29 | 1h 40min      | 3h 05min | 1h 25min  |

Tabela 1 – Resultados dos tempos de pega das pastas analisadas

Pela análise da Tabela 1 é possível observar que, à medida que o teor de substituição do cimento por cinza de casca de arroz e sílica ativa aumenta, ocorre o aumento da demanda de água para que a pasta atinja consistência normal. Este acréscimo na demanda de água chegou a ser 42% maior na pasta com 30% de CCA em comparação com a de referência. Isso ocorre em função da maior finura das partículas de CCA e SA, que possuem maior área de superfície específica a ser molhada e menor massa específica, o que significa elevada quantidade de partículas de CCA e SA presentes nas pastas (MEHTA; MONTEIRO, 2014; VENKATANARAYANAN; RANGARAJU, 2015; POUEY; DAL MOLIN, 2002; LIMA, 2004; RAHHAL; TALERO, 2009). O aumento da demanda de água nas misturas pode ser mais bem observado no gráfico apresentado na Figura 2.

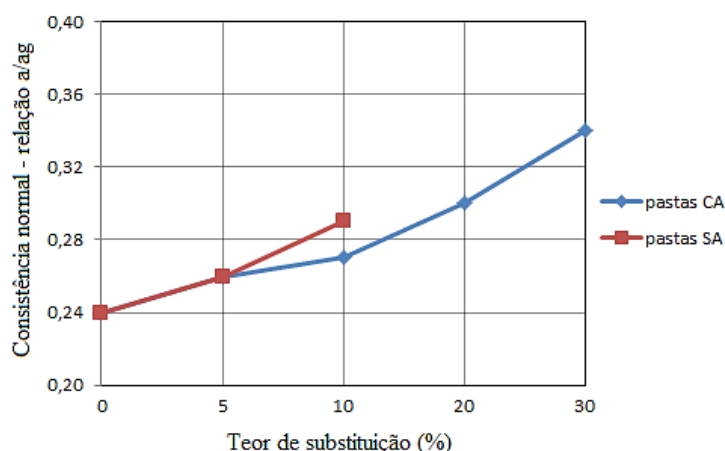


Figura 2 – Consistência normal das pastas analisadas

Por meio da análise da Figura 3, fica evidente que houve uma redução do tempo de início e fim de pega nas pastas contendo adições, quando comparadas com a pasta de referência. Quanto maior o teor de substituição, menores foram os tempos de pega obtidos, com destaque especial para a pasta contendo sílica ativa no teor de 10%, onde houve uma redução de 35% no tempo de início de pega e 14% no tempo de fim de pega em relação à pasta de referência.

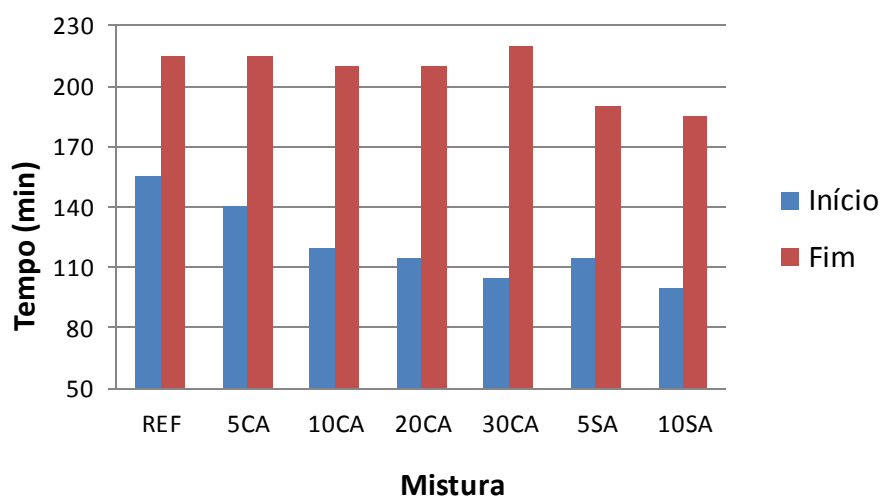


Figura 3 – Tempos de pega das pastas analisadas

Esse comportamento pode ser explicado pelas partículas altamente reativas de CCA e SA, que, com sua grande área de superfície específica e quantidade de sílica amorfa (>90%), reagem de forma rápida com os demais produtos de hidratação, agindo como pontos de nucleação para a precipitação do CH e reagindo com o mesmo por reação pozolânica, formando, assim, o C-S-H secundário, aumentando a quantidade de hidratos formados e acelerando a hidratação da pasta e sua pega (SANISH; NEITHALATH; SANTHANAM, 2013; LIMA, 2004). Ganesan, Rajagopal e Thangavel (2008), ao analisarem os tempos de pega de pastas de cimento comum contendo teores de substituição de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% e 35% de cinza de casca de arroz com mais de 87% de SiO<sub>2</sub> amorfa e elevada área superficial (36,47m<sup>2</sup>/g), também chegaram a resultados semelhantes, obtendo uma redução do tempo final de pega para todos os teores de substituição e queda no tempo de pega inicial a partir de 20% de substituição.

No entanto, houve uma exceção, a pasta contendo 30% de CCA apresentou o maior tempo de fim de pega. Essa discrepância pode ser explicada, de acordo com Topçu, Uygunoglu e Hocaoglu (2012), pelo efeito de diluição, onde a alta reatividade da CCA não compensou a menor quantidade de C<sub>3</sub>A e C<sub>3</sub>S disponível, ou ainda pela maior quantidade de água presente que separou os compostos e retardou sua hidratação. Venkatanarayanan e Rangaraju (2015) também observam que a presença de uma maior quantidade de partículas porosas de CCA, leva a uma grande adsorção de água da mistura pelos grãos de cinza, diminuindo sua disponibilidade para a hidratação do cimento.

#### 4. Considerações finais

Esta pesquisa teve por objetivo analisar a influência da adição de cinza de casca de arroz (CCA) de baixo teor de carbono grafítico e de sílica ativa (SA) nos tempos de início e fim de pega de pastas à base de cimento Portland.

À medida que os teores de CCA e SA foram acrescidos nas pastas, foi possível observar uma redução nos tempos de início e fim de pega em comparação com a pasta de referência, além de maiores intervalos entre esses tempos. A grande área de superfície específica e quantidade de sílica amorfa (>90%) das partículas de CCA e SA fazem com que as mesmas reajam de forma semelhante, rápida e intensamente com os demais produtos de hidratação, acelerando a

hidratação das pastas e sua pega. Também foi possível observar uma maior demanda de água das pastas contendo adições para atingir a consistência normal, justamente em função da elevada finura de seus grãos.

Dessa maneira, a utilização do resíduo da queima da casca de arroz como adição mineral no concreto se prova viável nesse contexto, por apresentar pozolanicidade e reatividade semelhantes à da sílica ativa, porém, requerendo alguns cuidados no seu uso, como maior demanda de água e cura adequada para prevenção de fissuras.

## Referências

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT.).** *NBR 16607 – Cimento Portland: determinação do tempo de pega.* Rio de Janeiro, 2017.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT.).** *NBR 5733 – Cimento Portland de alta resistência inicial.* Rio de Janeiro, 1991.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT.).** *NBR NM 43 – Cimento Portland: determinação o tempo de pega.* Rio de Janeiro, 2003.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT.).** *NBR NM 65 – Cimento Portland: determinação da pasta de consistência normal.* Rio de Janeiro, 2002.

**DAL MOLIN, D. C. C.** *Adições minerais.* In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Concreto: ciência e tecnologia.* 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

**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.

**GARCÍA-GUSANO, D. et al.** *Life cycle assessment of the Spanish cement industry: implementation of environmental-friendly solutions.* *Clean Techn Environ Policy*, v.17, p.59-73, 2015.

**ISAIA, G.C.** *A ciência e a engenharia de materiais de construção civil.* In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência dos materiais.* 2.ed. São Paulo, IBRACON, 2010.

**INTERNACIONAL CIMENT REVIEW.** *The Global Cement Report: ELEVENTH EDITION.* Disponível em: <http://www.cemnet.com/Publications/Item/172310/Global-cement-report-11.html>. Acesso em: 10.2015.

**LIMA, J. M.** *Estudo de aproveitamento do resíduo do beneficiamento de caulim como matéria prima na produção de pozolanas para cimentos compostos e pozolânicos.* 2004. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.

**MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M.** *Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.* 2.ed. São Paulo: IBRACON, 2014.

**NEVILLE, A.M.; BROOKS, J.J.** *Tecnologia do concreto.* 2.ed. Porto Alegre, Bookman, 2013.

**POUEY, M. T.; DAL MOLIN, D.** *Estudo comparativo da resistência à compressão de concretos com adição de cinza de casca de arroz de diferentes composições morfológicas.* In: Congresso Brasileiro do Concreto, n. 44. Belo Horizonte, 2002. CD-ROM.

**RAHHAL, V.; TALERO, R.** *Calorimetry of Portland cement with silica fume, diatomite and quartz additions.* *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 3367-3374, 2009.

**TECNOSIL.** *Sílica ativa.* Disponível em: <http://www.tecnosilbr.com.br/wp-content/themes/tecnosilbr/download/catalogo-silica-ativa.pdf>. Acesso em: 01 ago.2017.

**SANISH, K.B.; NEITHALATH, N.; SANTHANAM, M.** *Monitoring the evolution of material structure in cement pastes and concretes using electrical property measurements.* Construction and Building Materials, v.49, p.288-297, 2013.

**SNIC.** *Relatório anual.* Rio de Janeiro, SNIC, 2013. Disponível em:  
<http://www.snic.org.br/pdf/RelatorioAnual2013final.pdf>. Acesso em: 14 out.2015.

**TOPÇU, İ.B.; UYGUNOĞLU, T.; HOCAOĞLU, İ.** *Electrical conductivity of setting cement paste with different mineral admixtures.* Construction and Building Materials, v. 28, p. 414–420, 2012.

**UWASU, M.; HARA, K.; YABAR, H.** *World cement production and environmental implications.* Environmental Development, v.10, p.36-47, 2014.

**VENKATANARAYANAN, H.K.; RANGARAJU, P.R.** *Evaluation of Sulfate Resistance of Portland Cement Mortars Containing Low-Carbon Rice Husk Ash.* Journal of materials in civil engineering, v.26, p.582 -592, 2014.

**WILD, S.; KHATIB, J.; JONES, A.** *Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete.* Cement & Concrete Research, v.26, n. 10, p. 1537-1544, 1996.