Avaliação da resistência à compressão e da expansibilidade de um cimento CSAB a partir da variação do teor de sulfato de cálcio

Gabriela Correia Duarte
Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
email: gabriela.duarte.93@hotmail.com
Eugênio Bastos da Costa
Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
email: ebc.eng@hotmail.com
Ana Paula Kirchheim
Professora/Pesquisador do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
email: anapaula.k@ufrgs.br

Resumo. *O cimento mais utilizado no mundo é o Portland, porém, a produção do cimento sulfoaluminato de cálcio belítico (CSAB) reduz o impacto ambiental devido à baixa temperatura de queima e a menor emissão de CO_2 pela calcinação das matérias-primas. Para diminuir o conteúdo de clínquer e o calor de hidratação do cimento CSAB pode ser adicionado sulfato de cálcio, o qual reagirá com a fase ye'elimita na presença de água para formar etringita, de característica expansiva. Desta forma, o objetivo do trabalho foi avaliar a estabilidade dimensional e a resistência à compressão de um cimento CSAB em função da variação do teor de adição de sulfato de cálcio em relação à massa de clínquer. O cimento CSAB foi produzido em laboratório, realizou-se o ensaio de expansibilidade - NBR 11582 (1991) - e o de resistência à compressão. Os resultados mostraram que o valor ótimo de adição de gipsita é de 10%.*

Palavras-Chave: *Impacto ambiental. Cimento Portland. Cimento sulfoaluminato de cálcio belítico.*

1. INTRODUÇÃO

A fabricação de cimento tem um considerável impacto ambiental devido ao elevado consumo energético e às emissões de gases do efeito estufa, principalmente dióxido de carbono (CO_2). O consumo global de energia para a produção de cimento situa-se entre 7 e 10 bilhões de GJ/ano, e as emissões de CO_2 correspondem a aproximadamente 6-7% da geração mundial (MALHOTRA, 1999; MEHTA, 2002; MEHTA E MONTEIRO, 2008). Nos Estados Unidos, conforme dados da agência de proteção ambiental americana, a fabricação de cimento corresponde a 29,9% do total de emissões associadas às atividades industriais (EPA, 2006).

A busca pela redução do fator clínquer nos cimentos Portland levou a produção de cimentos com quantidades consideráveis de adições, como a cinza volante e escória de alto forno, por exemplo, tais adições minerais propiciam, além da redução da quantidade de clínquer no cimento, uma melhora no desempenho do cimento (contribui na resistência a longo prazo, no tempo de pega e na durabilidade).

A indústria do cimento já começou a reconhecer a importância de misturas alternativas com consequente redução do fator clinquer na produção do cimento. O Brasil tem atuado em diversas linhas para melhorar a ecoeficiência do cimento Portland entre algumas ações podem ser

citadas as apontadas para a região sul do país (Votorantin, 2012)[1].

- maximização da utilização de cinzas de termoelétricas;
- maximização da utilização de biomassas como casca de arroz;
- maximização da substituição de combustíveis fósseis tradicionais por combustíveis fósseis alternativos (menor fator de emissão);
- rápida atualização tecnológica.

Além disso, a demanda por um mercado de uso de carbono consciente representa o principal motor para a adoção a curto prazo de cimentos alternativos.

O cimento mais utilizado no mundo é o Portland, porém, a produção do cimento sulfoaluminato de cálcio belítico (CSAB), por exemplo, reduz o impacto ambiental devido à baixa temperatura de queima e a menor emissão de CO_2 pela calcinação das matérias-primas e maior facilidade na moagem.

Para diminuir o conteúdo de clínquer e o calor de hidratação do cimento CSAB pode ser adicionado sulfato de cálcio ($CaSO_4$), o qual reagirá com a fase ye'elimita ($Ca_4A_6SO_{l6}$; $C_4A_3\$$) na presença de água para formar etringita, um composto hidratado de característica expansiva. Pesquisas acerca de novos materiais sustentáveis tem uma grande contribuição no desenvolvimento de novas tecnologias que poderão contribuir pelo menos para desaceleração do aumento destes índices ou até mesmo a sua estagnação.

2. Materiais e métodos

2.1 Caracterização dos materiais

As matérias-primas utilizadas para a produção do clínquer experimental foram a bauxita, o calcário de médio teor e gipsita. A partir das equações de Bogue (1929) adaptado por Majling *et al.* (1993) o qual considera a composição de óxidos da farinha para estimativa da composição das fases do clínquer foram proporcionados os materiais. Em forno de alta temperatura pelets de farinha foram clinquerizados à 1250ºC com resfriamento lento e após brusco em forno mufla quando a temperatura atingiu 900ºC.

2.2 Moagem do clínquer e adição de gipsita

O lote de clínquer produzido foi moído durante 20 minutos em moinho de ferro (Figura 1). Na matriz experimental foi previsto 4 proporcionamentos de gipsita (sulfato de cálcio dihidratado) (0%, 5%, 10%, 15%) para compor os cimentos CSAB avaliados. A homogeneização da mistura foi feita com o auxílio do moinho de bolas.

Figura 1. Moinho de Ferro

2.3 Ensaios físicos

Devido à limitação de material, foram moldados corpos de prova em escala reduzida de dimensões aproximadas de 1,3x1,3x1,3 cm em pasta, como proposto por Costa (2013). Os quatro tipos de cimento produzidos (teores diferentes de gipsita: 0%; 5%; 10% e 15%) foram rompidos em quatro idades (1, 3, 7 e 28 dias) com relação água cimento de 0,45 (Figura 1). A velocidade de carregamento para ruptura foi de 0,2MPa/s.

Figura 2. Detalhe da variabilidade do tamanho dos CPs

[1] http://www.cema.pr.gov.br/arquivos/File/Lactec3006200912744.pdf

O ensaio de expansibilidade a quente foi realizado conforme os procedimentos da norma ABNT NBR 11582:2012 (Cimento Portland — Determinação da expansibilidade Le Chatelier).

3. Resultados e discussões

3.1 Caracterização do clínquer

A Figura 2 apresenta a semi-quantificação realizada pelo método de RIR (*Reference Intensity Ratio* - Razão das Intensidades de Referência) a partir do difratograma analisado do pó do clínquer CSAB experimental.

As composições de fases dos clínqueres CSAB experimentais (C_2S: 37%; $C_4A_3\overline{S}$: 19%; C_4AF: 7%) se mantiveram no intervalo de um cimento CSAB típico. Segundo Odler (2000) as fases do clínquer CSAB podem variar de: C_2S: 10-60%; $C_4A_3\overline{S}$: 10-55%; $C_2(A,F)$: 0-40%.

A formação de aluminato tricálcico e mayenita (10% no total) pode ter ocorrido devido à escassez de sulfato de cálcio implicado redução do conteúdo de $C_4A_3\overline{S}$, fato este que reduziu a resistência à compressão inicial dos cimentos experimentais.

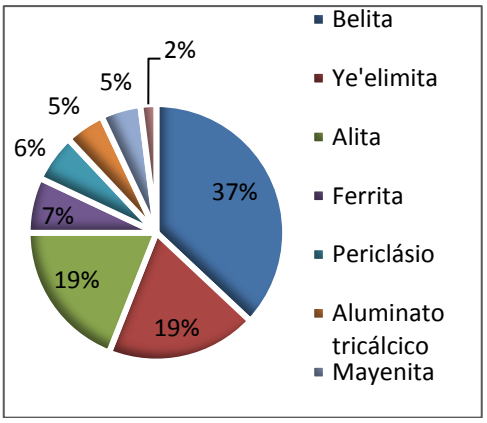

Figura 3. Proporção das fases presentes no Clínquer CSAB

3.2 Caracterização dos cimentos

Os resultados de resistência à compressão nas idades já especificadas são apresentados na Figura 3.

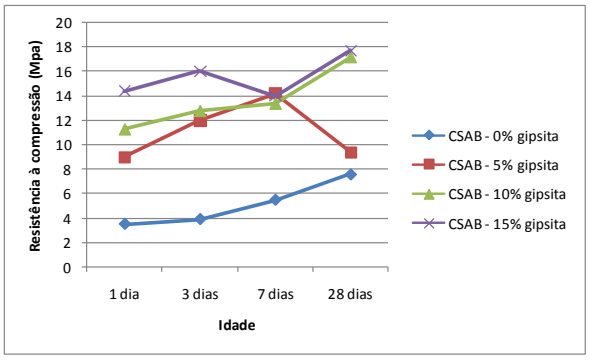

Figura 4. Resistência à compressão dos cimentos CSAB experimentais

A hidratação de cimentos de base $C_4A_3\overline{S}$ depende principalmente da quantidade e reatividade do sulfato de cálcio adicionado (SAHU *et al.*, 1991, PERA e AMBROISE, 2003), sendo influenciada também pelas outras fases secundárias presentes. Em comparação com o cimento Portland comum, cimentos de base $C_4A_3\overline{S}$ reagem mais rapidamente, e a maior parte da libertação de calor de hidratação ocorre entre 2 e 12 h de hidratação (ZHANG e GLASSER, 1999). Portanto, o teor de gipsita no cimento foi diretamente proporcional à resistência à compressão, com formação de etringita, indicando uma boa relação entre a redução do fator clínquer e o aumento da resistência.

A Tabela 1 nos mostra os resultados obtidos no ensaio de expansibilidade a quente. Verifica-se que os cimentos com até 10% de adição de gipsita em relação à massa do clínquer CSAB experimental atendem a exigência de norma, a qual indica que a expansibilidade deve ser inferior a 5 mm.

Tabela 1. Resultado do ensaio de expansibilidade a quente (exigência para cimento Portland < 5,0 mm)

CSAB - 0% gipsita	**CSAB - 5% gipsita**	**CSAB - 10% gipsita**	**CSAB - 15% gipsita**
0 mm	0 mm	2,5 mm	6,5 mm

4. Conclusão

Considerando os materiais utilizados e a metodologia adotada para a produção dos cimentos experimentais, conclui-se que o teor de adição de gipsita em relação à massa do clínquer CSAB influencia no aumento da resistência à compressão e da expansão dentro do intervalo estudado. A adição de até 10% de gipsita apresentou o melhor resultado, conciliando resultados satisfatórios de resistência e expansibilidade.

Também, deve-se destacar que os resultados de resistência à compressão foram abaixo do esperado, o que pode ser explicado pela condição de resfriamento do clínquer experimental, que inicialmente foi realizada lentamente e após bruscamente, este método pode ter influenciado nos resultados. Novos estudos estão em fase de desenvolvimento, alterando este método e os resultados encontrados até o momento mostram-se muito animadores e espera-se apresentá-los em um futuro artigo.

5. Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11582**: Cimento Portland - determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMASTÉCNICAS. NBR 7215: cimento portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

BOGUE, R. H., **Calculation of the Compounds in Portland Cement**. Analytical Edition, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 1, No. 4, 1929. 192 p.

CHEN, I. A. **Synthesis of Portland Cement and Calcium Sulfoaluminate-Belite Cement for Sustainable Development and Performance**. PhD dissertation. Department of Civil Engineering of The University of Texas at Austin, 2009. 174 p.

EPA. US Emissions Inventory 2006. Environmental Protection Agency. 2006. (USEPA #430-R-06-002). Disponível em: <http://yosemite.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/content/ResourceCenterPublicationsGHGEmissionsUSEmissionsInventory2006.html.> Acesso em 27 ago. 2013.

MAJLING J.; ROY, D.M. **The potential of fly ash for cement manufacture,** Am. Ceram. Soc. Bull. 72 (10), 1993. 77 – 80 p.

MALHOTRA, V. M. Making concrete "greener" with fly-ash. **Concrete International**, v.21, n.5, 1999. 61-66 p.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MEHTA, P. K. Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development. **Concrete International**, v.24, n.7, 2002.

ODLER, I. **Special inorganic cements, Modern Concrete Technology**, E & FN SPON Editor, 2000.

ZHANG, L.; GLASSER, F.P. **Hydration of sulfoaluminate cement at less than 24h**, 1999 Adv. Cem. Res., 11(1) 141-155.

SAHU, S; HAVLIKA, J.; TOMKOVA, V.; MAJLING, J. **Hydration behaviour of sulphoaluminate belite cement in the presence of various calcium sulphates, Termochim.** 1991. Acta, 172 (1), 45-52

PÉRA J.; AMBROISE J**. New applications of calcium sulfoaluminate cements, Cem. Concr.** Res. 33(4) (2003) 671-676

COSTA, E. B. **Aproveitamento do resíduo de anodização do alumínio na produção do cimento sulfoaluminato de cálcio belítico.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.