



Avaliação de cimentos álcali ativados (CAT) submetidos à carbonatação acelerada com vistas à sua durabilidade

RESUMO

Lucas Ceconi Kretschmer
kretschmer@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Pato Branco, Paraná,
Brasil

Caroline Angulski da Luz
angulski@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Pato Branco, Paraná,
Brasil

Douglas Éverton Cadore
douglascadore14@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Pato Branco, Paraná,
Brasil

OBJETIVO: A escória granulada de alto-forno é um subproduto da produção do ferro-gusa, realizada em fornos alimentados por coque ou carvão vegetal. O resíduo de fornos com carvão vegetal, de caráter ácido, pode ser utilizado em cimentos álcali-ativados. A avaliação de durabilidade desse material é importante para viabilizar tais aplicações de engenharia, como em concreto armado, por exemplo. **MÉTODOS:** Testes foram conduzidos para mensurar a carbonatação e o índice de vazios por absorção de água de concretos à base de cimento álcali-ativado e de cimento Portland pozolânico (CPIV-32-RS). **RESULTADOS:** O CAT apresentou maior profundidade de carbonatação em relação ao CPIV e índice de vazios por absorção d'água de mesma magnitude. **CONCLUSÕES:** A escória de alto forno ácida exibiu maior suscetibilidade à carbonatação que o cimento Portland à carbonatação, quando do uso em cimento álcali-ativado.

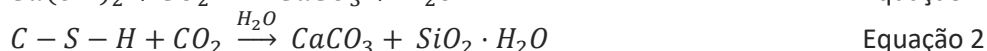
PALAVRAS-CHAVE: Durabilidade. Carbonatação. Escória ácida.

INTRODUÇÃO

A produção média de dióxido de carbono por tonelada de cimento Portland brasileiro é de 600 kg apenas na descarbonatação (SNIC, 2013). Valor correspondente a 50% do todo, sendo o combustível por 40%, o transporte por 5% e a eletricidade por 5% (BATTELLE, 2002); totalizando mais de uma tonelada de CO₂. A partir do melhor aproveitamento de escórias em substituição clínquer, há redução dos efeitos propiciados por tais emissões.

A escória granulada de alto-forno é um subproduto da produção do ferro-gusa, realizada em fornos alimentados por coque ou carvão vegetal. O material que cumpre o critério de basicidade da NBR 5735 (ABNT, 1991) é utilizado pela indústria. A escória ácida, no entanto, pode ser valorizada em cimentos álcali-ativados. Para efetivar esse uso, faz-se o estudo do comportamento em métodos de durabilidade como a carbonatação, por exemplo.

As reações globais (principais) de carbonatação em cimento Portland segundo Taylor (1997) estão nas Equações 1 e 2, para a Portlandita e para o C-S-H, respectivamente. A Equação 1 mostra a queda da reserva alcalina e a Equação 2 a descalcificação do C-S-H. Outras reações se desencadeiam, como dos aluminatos e dos álcalis, mas têm menor relevância ao estudo. Nas pastas de escória não há Portlandita e a carbonatação ataca diretamente o C-S-H, geralmente referido por C-A-S-H pela maior substituição de alumínio na estrutura.



Essas reações são influenciadas por variáveis no material e do ambiente. Temperatura, ativador e teor, relação água/aglomerante, umidade e retração são exemplos dessas variáveis. Se a umidade relativa do ambiente for baixa, há ocorrência de retração a partir da carbonatação. Em umidades altas a difusão do CO₂ é lenta. Essa diversidade de mecanismos dificulta a padronização e a comparação de desempenhos em estados que não o de serviço.

O objetivo do trabalho consiste em avaliar a carbonatação de cimento álcali-ativado por testes acelerados e compará-la com cimento Portland.

MÉTODOS

A escória em estudo possui caráter ácido (quase neutro), com CaO/SiO₂ = 0,97 e foi moída até atingir superfície específica de 5119,91 cm²/g e massa específica 2,76 g/cm³. O ativador alcalino utilizado na pesquisa foi o Hidróxido de Sódio em pérolas (ENERSODA) e seguiu-se teor de 5% em massa de aglomerante (LANGARO, 2016). A proporção de materiais para os concretos foi de 1:2:3:0,5 (aglomerante, ag. miúdo, ag. graúdo e relação água/aglomerante). Utilizou-se misturador mecânico, com algumas adaptações do método de mistura da NBR 7215 (ABNT, 1996). Os corpos de prova foram submetidos à cura úmida (RH > 95%), à temperatura 23 ± 2 °C.

Quanto aos agregados, usou-se areia natural, retirando torrões e outros fragmentos, e fez-se a classificação do agregado graúdo (brita 0) por peneiramento, aproveitando-se a porção passante à peneira 6,30mm e retida na 4,80mm. O cimento Portland para comparação foi o CPIV-32-RS (pozolânico) da marca Itambé.

ÍNDICE DE VAZIOS E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Seguiu-se o proposto na NBR 9778 (ABNT, 2005). Foram moldadas 2 amostras cilíndricas de CPIV e 2 de CAT.

CARBONATAÇÃO ACELERADA

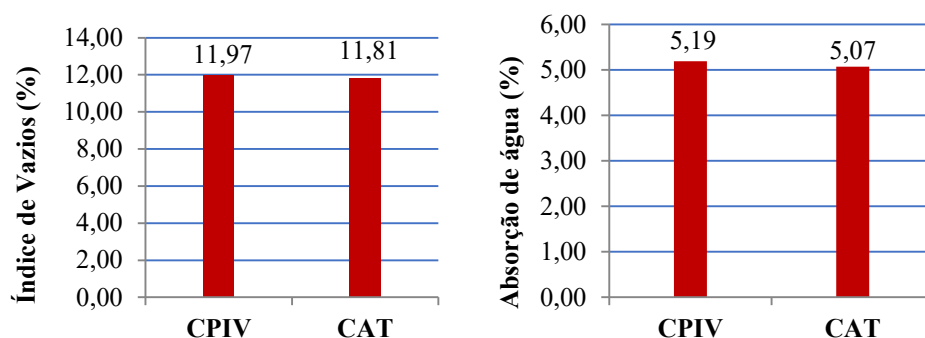
O pré-condicionamento das amostras seguiu recomendações feitas por Pauletti (2004) e as medições foram realizadas às 4, 8, 12 e 16 semanas após os 28 dias. A câmara de carbonatação manteve-se a umidade relativa de $60 \pm 0,5\%$, teor de CO_2 $5 \pm 1\%$ e temperatura de $40 \pm 0,1^\circ\text{C}$.

RESULTADOS

ÍNDICE DE VAZIOS E ABSORÇÃO DE ÁGUA

Na Figura 1 são mostrados os valores de índice de vazios e de absorção de água para os concretos de CPIV e CAT.

Figura 1 – Índice de vazios e absorção de água por imersão de concretos à base de CPIV e de CAT (28 dias) cura úmida

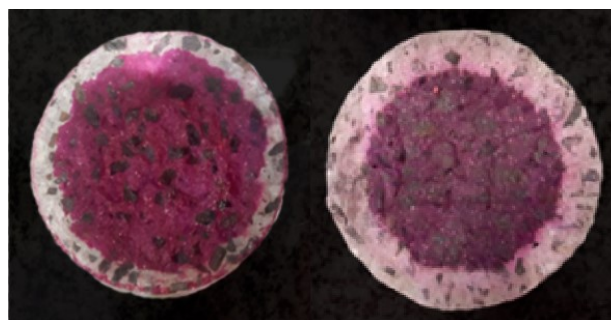


Fonte: Autoria própria (2017).

CARBONATAÇÃO ACELERADA

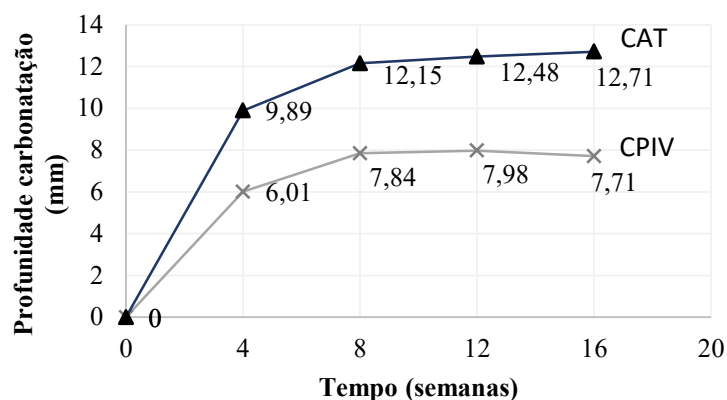
Amostras carbonatadas (com 16 semanas) após aplicação de fenolftaleína estão à Figura 2, para os dois tipos de concreto – CPIV e CAT. As medições da profundidade, em milímetros, estão na Figura 3. O coeficiente de carbonatação – reta linearizada – tem valores de 3,67 e 2,32 mm/semanas^{0,5} para o CAT e CPIV, respectivamente.

Figura 2 - Corpos de prova com 16 semanas de carbonatação após aplicação de solução de fenolftaleína, CPIV (esquerda) e CAT (direita)



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 3 - Profundidade de carbonatação (mm) em corpos de prova de CPIV e CAT



Fonte: Autoria própria (2017).

CONCLUSÕES

O índice de vazios e a absorção de água são similares para o CAT e o CPIV. Não significa, no entanto, que o CAT tem porosidade total de mesmo valor a do CPIV. Trabalhos já foram feitos para relacionar os resultados desse teste – e outras propriedades – com a carbonatação, em modelos de previsão como o de Raisdorfer (2015).

Constatou-se maior carbonatação no CAT em todas as idades. Alguns estudos sugerem o ataque direto ao C-S-H como explicação para o desempenho inferior, independentemente do tipo de ativador e aditivos usados (PUERTAS et al., 2006), uma vez que o consumo de Portlandita em cimentos Portland, indiretamente, preserva o material. Também há ligação com a maior retração nos CATs. Bernal et al. (2014) conduziram testes em condições de serviço (carbonatação natural) e as profundidades medidas foram menores do que em modelos de previsão a partir de testes acelerados em escórias.

A profundidade da carbonatação é preocupante para aplicações de materiais à base de cimento álcali-ativado em estruturas. Embora a formação de calcita deixe o material externamente mais duro, a descalcificação do C-S-H diminui a resistência do material e, por conseguinte, deixa o concreto mais suscetível a novos ataques de mesma ou diferente natureza.

Durability evaluation of alkali-activated slag (AAS) exposed to accelerated carbonation

ABSTRACT

OBJECTIVE: The ground granulated blast-furnace slag is a by-product from the production of pig-iron, which can be fueled by coal or charcoal. The by-products from charcoal furnaces (acid slag) can be used as alkali-activated slag cements (AAS). The evaluation of its durability is important for applications as an engineering material, such as reinforced concrete. **METHODS:** Tests were conducted to measure the carbonation and the void ratio by water absorption of AAS and pozzolanic Portland cement concretes. **RESULTS:** The AAS cement showed deeper carbonation than Portland cement and similar results in the void ratio by water absorption test. **CONCLUSIONS:** The acid slag has higher carbonation rates in comparison with pozzolanic Portland cement, when used as an alkali-activated binder.

KEYWORDS: Durability. Carbonation. Acid slag.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5735: Cimento portland de alto forno. Rio de Janeiro, 1991. 5 p.

_____. NBR 7215: Cimento Portland – determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996. 8 p.

_____. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

BATTELLE / WBCSD. Toward a Sustainable Cement Industry – Substudy 8: Climate Change. Battelle – The Business of Innovation. WBCSD – World Business Council for Sustainable Development. 2002. Disponível em: <https://www.wbcscement.org/pdf/battelle/final_report8.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2017.

BERNAL, S. A. et al. Natural carbonation of aged alkali-activated slag concretes. *Materials and Structures*, v. 47, p. 693-707, 2014.

LANGARO, E. A. Cimento álcali ativado a partir da valorização da escória de alto forno a carvão vegetal. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PUERTAS, F.; PALACIOS, M.; VÁZQUEZ, T. Carbonation process of alkali-activated slag mortars. *Journal of Materials Science*, v. 41, p. 3071-3082, 2006.

RAISDORFER, J. W. Influência da adição ou substituição de adições minerais ao cimento Portland: efeitos na carbonatação, absorção capilar e resistividade de concretos. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. Relatório Anual. [S.l.], 2013. Disponível em: <www.snic.org.br/relatorio_anual_dinamico.asp>. Acesso em: 13 mar. 2017.

PAULETTI, C. Análise comparativa de procedimentos para ensaios acelerados de carbonatação. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

TAYLOR, Harry FW. *Cement chemistry*. Thomas Telford, 1997.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

KRETSCHMER, L. C. et al. Avaliação da carbonatação de cimentos álcali ativados (CAT) com vistas à sua durabilidade. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Lucas Ceconi Kretschmer

Via do Conhecimento, número 685, Bairro Fraron, Pato Branco, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não-Comercial 4.0 Internacional.

