

Pozolanicidade do pó de tijolo

Uma propriedade a potenciar

As pozolanas são materiais que às temperaturas ordinárias se combinam, em presença da água, com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) e com os diferentes componentes do cimento, originando compostos de grande estabilidade na água e com propriedades ligantes. Sabendo-se das potenciais características pozolânicas do pó de tijolo, este material pode ser aplicado em argamassas (e betões) como substituinte parcial do cimento. No entanto, é necessário calcular a sua reactividade pozolânica (pozolanicidade).

1. APLICAÇÃO DE PÓ DE TIJOLO COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSAS

As pozolanas são conhecidas há imenso tempo. Gregos e Romanos utilizaram, como adição em argamassas de cal e areia, materiais de origem vulcânica para obter melhores desempenhos mecânicos. Nas regiões onde havia falta de material de origem vulcânica, os Romanos também aproveitaram os tijolos, as telhas e as louças cerâmicas (fig. 1),



Fig. 1 - Restos de materiais cerâmicos encontrados nas ruínas romanas de Conímbriga

depois de moídos, como adições em argamassas de cal e areia. No Egito e na Índia, foram utilizados tijolos e telhas cerâmicas moídos na fabricação de pozolanas (Petrucci, 1978).

No entanto, após a descoberta do cimento *portland*, e até há alguns anos, estas aplicações da pozolana foram um pouco esquecidas, pois todas as construções passaram a ser executadas com cais hidráulicas e cimentos artificiais.

Nos últimos anos, têm sido estudadas, com alguma incidência, as reacções pozolânicas, não só com o intuito de caracterizar argamassas de importância histórica, mas também para a produção de argamassas com adição de materiais com propriedades pozolânicas.

2. DETERMINAÇÃO DA REACTIVIDADE POZOLÂNICA DO PÓ DE TIJOLO

As pozolanas naturais resultam da calcinação dos minerais siliciosos e argilosos. A temperatura de 500 °C para a caulinite, ou mais baixa ainda para outros minerais argilosos, pode ser tomada como ponto de aquecimento (aquando da sua fabricação - fig. 2) a partir do qual se começam a manifestar propriedades pozolânicas, enquanto que, para além de 900 a 1000 °C, a reactividade se torna menor e começa a desaparecer (Coutinho, 1958).

Tal como nas pozolanas e de acordo com Amorim *et al* (2000), a moagem do material reciclado, nomeadamente de cerâmica vermelha (fig. 3), para obter uma redução no tamanho das

partículas, desenvolve uma maior superfície de contacto entre grãos, ou seja, uma maior área específica, facilitando assim as reações químicas que se iniciam na sua superfície.

Uma das principais propriedades das pozolanas é a sua reactividade determinada por um método expedito e rápido que não envolva a medição directa das propriedades que se pretende que a pozolana tenha, medição que, em geral, requer longos ensaios. Segundo Amorim *et al* (2000), através de ensaios, as reações entre cimento ou cal e compostos com propriedades pozolânicas necessitam de cura mais prolongada do que outros compostos de propriedades ligantes, tais como argamassas de cimento, sem qualquer adição. Quando se quer avaliar a resistência mecânica ou química de uma pozolana, misturada com cal ou com cimento, e não seja possível, ou económico, esperar muito tempo para determinar a acção pozolânica, recorre-se a métodos expeditos, em geral químicos, para esta avaliação.

3. MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA REACTIVIDADE POZOLÂNICA

Existem diferentes métodos possíveis de avaliação da reactividade de uma pozolana com importância histórica ou qualidade no esclarecimento da reacção pozolânica.

Métodos directos

Os ensaios directos da influência das pozolanas sobre argamassas e betões, como as suas resistências química ou mecânica, têm de ser realizados sobre as misturas já endurecidas ou durante o seu endurecimento, e só podem ser executados com a acção de um ligante auxiliar, sem o qual a pozolana ficaria quase inerte.

a) NBR 5752 (1992) - preparam-se argamassas em dois traços distintos, um de referência e o outro com substituição de 35 por cento do volume de cimento por pozolana. O índice de pozolanicidade é definido pela relação da resistência aos 28 dias entre as duas argamassas. Um material, para ser considerado como pozolânico, deve apresentar um índice igual ou superior a 75 por cento (Lima, 2004).

b) NBR 5751 (1992) - são confeccionadas argamassas que contenham dois volumes de pozolana para um volume de hidróxido de cálcio. A determinação da resistência é aos 7 dias de idade e o material será considerado pozolânico se as argamassas apresentarem valores superiores a 6,0 MPa (Lima, 2004).

c) Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos (RBLH) de Portugal, de 1991 - procede-se à determinação da resistência à flexão e à compressão de um provete prismático de uma mistura de cal com a potencial pozolana. Compara-se os valores de resistência obtidos com os valores mínimos dados no regulamento. Se os primeiros forem iguais ou superiores aos segundos, o produto estudado é considerado com características pozolânicas.

Silva (2006) utilizou esta última metodologia a partir de ensaios de resistência à flexão e à compressão de, res-

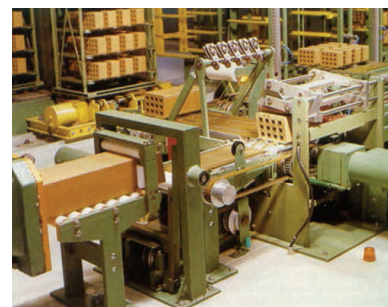


Fig. 2 - Fabrico de tijolos cerâmicos de barro vermelho

pectivamente, três prismas e seis semi-prismas (resultantes dos ensaios de flexão) de uma mistura de pó de tijolo com cal, aos 28 dias de cura de imersão em água (Quadro 1).

Os resultados dos ensaios são ambos inferiores aos propostos como mínimos necessários para que o pó de tijolo utilizado seja considerado um material pozolânico. Segundo Levy (1997), não é de descartar alguma actividade pozolânica, ainda que pouco relevante, por parte deste material, aquando adicionado em argamassas, embora sem atingir os valores considerados mínimos no RBLH (1991).

Métodos indirectos

a) Métodos baseados na análise da composição química - é a natureza da estrutura física dos componentes da pozolana que lhe confere a sua maior ou menor reactividade que, no entan-

Flexão (N/mm ²)	Pozolanicidade	Compressão (N/mm ²)	Pozolanicidade
0,30	Negativa (menor que 1 N/mm ²)	0,68	Negativa (menor que 3 N/mm ²)

Quadro 1 - Resultados do ensaio de pozolanicidade previsto no RBLH

to, não dispensa elementos preciosos fornecidos pela análise química. Dentro de uma dada classe, de um dado tipo de pozolana, a composição química pode ter a sua importância, para definir a regularidade de um dado produto ou a uniformidade de um dado jazigo (Coutinho, 1958).

b) Método de Chappelle (modificado) - sendo a actividade pozolânica a capacidade de reacção com o óxido de cálcio *em solução aquosa* apresentada por uma determinada substância, Chappelle propôs que, para que um material seja considerado pozolânico, deva ter um consumo mínimo de 330 mg de CaO/g de amostra (Coutinho, 1958).

Segundo Raverdi *et al* (ANTAC, 1996), o ensaio consiste em colocar 1 g de amostra com 1 g de óxido de cálcio (CaO) em dispersão aquosa, em ba-

nho-maria com temperatura próxima da fervura, sob agitação, por um período de 16 horas. O resultado deste ensaio é expresso pela quantidade de óxido de cálcio consumido pela amostra. 330 mg de CaO/g de amostra seria o índice mínimo da pozolanicidade para que o material fosse considerado pozolânico.

Após ensaios com pó de diferentes materiais, obtiveram-se os seguintes resultados (ANTAC, 1996):

- bloco cerâmico (refractário) 137,1 mg CaO/g de amostra;
- tijolo de barro vermelho 255,8 mg CaO/g de amostra;
- bloco de betão 56,6 mg CaO/g de amostra.

Nenhum destes resultados alcançou o valor mínimo de 330 mg CaO/g de amostra, mas o tijolo de barro vermelho atingiu um índice r

elativo, quase o valor mínimo para que seja considerado um material pozolânico. Levy *et al* (1997) apresentam também este ensaio como válido para determinar a actividade pozolânica, mas não é o único factor determinante para explicar a actividade pozolânica, uma vez que o efeito da granulometria e o teor de finos são muito importantes na reacção pozolânica, embora a sua contribuição ainda não se encontre suficientemente explorada.

c) Método da condutividade - a condutividade de uma solução electrolítica é a expressão numérica quantitativa da sua capacidade de transportar a corrente eléctrica e é o inverso da resistência eléctrica de 1 cm³ do líquido a uma temperatura de 25 °C. O transporte de cargas nas soluções electrolíticas é realizado por iões. A



Soc. Construções José Moreira

Av. Manuel Alpedrinha 15 • 2720 - 352 Amadora, PORTUGAL

Tel: +351 21 496 1270 • Dct: +351 21 499 8655 • Mob: +351 91 7230 635 • Fax: +351 21 495 9780

josemoreira@josemoreira.com • csantos@josemoreira.com • www.josemoreira.com

Capital Social € 750.000, CRC Amadora 4482, Alvará Construção 2294, NIF 501337300



Fig. 3 - Equipamento de moagem de cerâmica vermelha

unidade SI utilizada para esta medida é o Siemens por metro (S/m) (Luxán *et al*, 1989).

Após várias pesquisas de vários autores, obteve-se um método-tipo satisfatório para aplicar na determinação do índice de pozolonacidade de um material, que permite uma análise rápida e relativamente simples, através de uma pequena quantidade de amostra. Consiste na determinação da condutividade de uma solução com uma substância com facilidade de ser dissolvida e transformada em iões (NaOH e Ca(OH)₂, por exemplo)

em concentrações variáveis às quais uma dada quantidade de material (potencialmente pozolânico) a estudar é misturada.

A figura 4 mostra a condutividade *versus* quantidade da amostra de material (potencialmente pozolânico). Fez-se um teste com três diferentes tipos de material: agregado (Q) e dois diferentes tipos de materiais activos pozolanicamente (1 e 2). Existe uma diferença notória entre as curvas obtidas para os materiais activos (1 e 2) e o agregado (areia - Q), que permite uma fácil distinção após a elaboração do ensaio.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade da composição das pozolanas, das suas reacções químicas e das acções que têm sobre as argamassas e betões, modificando-lhes as propriedades por vezes em sentidos imprevisíveis, tornam difícil ter uma opinião definida sobre o valor da reactividade de uma pozolana (Coutinho, 1958).

No caso do pó de tijolo de barro vermelho produzido na actualidade, parece ter uma reacção muito próxi-

ma da pozolânica, mas que, segundo alguns dos métodos supramencionados, não atinge o mínimo necessário para que seja oficialmente considerado um material pozolânico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AMORIM, L. V.; Pereira, A. S. G.; Neves, G.A.; Ferreira, H. C.; *Reciclagem de rejeitos de cerâmica vermelha e da construção civil para obtenção de aglomerantes alternativos*, Universidade Federal do Pará, Centro de Ciências e Tecnologia, Cerâmica Industrial, Julho de 2000.
- (2) ANTAC; *Workshop sobre reciclagem e reutilização de resíduos como material de construção civil*/Dept. Eng. Civil, PCC-USP, São Paulo, 25-26 de Novembro de 1996.
- (3) COUTINHO, A. de Sousa; *Pozolanas, betões com pozolanas e cimentos pozolânicos*, Ministério das Obras Públicas, LNEC, 1958.
- (4) LEVY, Salomon M.; *Reciclagem do entulho de construção civil, para a utilização como agregado de argamassas e concretos*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- (5) LIMA, Jefferson Maia; *Estudo de aproveitamento do resíduo do beneficiamento de caulim como matéria prima na produção de pozolanas para cimentos compostos e pozolânicos*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2004.
- (6) PETRUCCI, E. G. R.; *Materiais de Construção*, 3ª edição, Porto Alegre, Editora Globo, 1978.
- (7) LUXÁN, M. P.; Madruga, F.; Savedra, J.; *Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurement*, Cement and Concrete Research, vol. 19, Pergamon Press, 1989.
- (8) RBLH - *Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos*, secção do "Caderno de encargos para o fornecimento e recepção de pozolanas", versão dada pelo decreto-lei nº 445/89, de 30 de Dezembro, Porto Editora, 1991.
- (9) SILVA, João; *Incorporação de resíduos de barro vermelho em argamassas cimentícias* Lisboa, [s.n.] Dissertação de Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2006, 224 p..

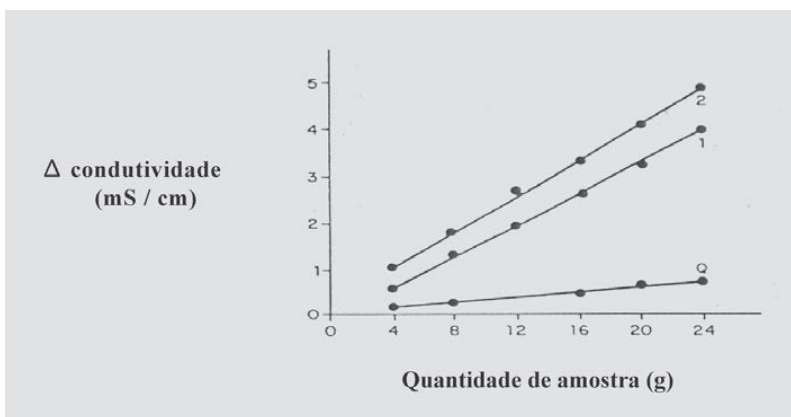


Fig. 4 - Variação de condutividade versus quantidade de amostra (Luxán *et al*, 1989)

JOÃO SILVA, Engenheiro Civil,
Mestre em Construção pelo IST

JORGE DE BRITO, Engenheiro Civil,
Professor Associado com Agregação do IST

MARIA DO ROSÁRIO VEIGA,
Engenheira Civil,
Investigadora Principal do LNEC