

SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR RESÍDIO DE CERÂMICA VERMELHA EM ARGAMASSAS: ESTUDO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA

A. R. da Silva, K. C. Cabral, E. N. de M. G.I Pinto
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
e-mail: kleber.cabral@ufersa.edu.br

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é analisar a atividade pozolânica do resíduo de cerâmica vermelha na substituição parcial do Cimento Portland em argamassas. As argamassas foram preparadas substituindo-se 25% do Cimento Portland por resíduo de cerâmica moído com fator água cimento fixado em 0,48. O cimento utilizado para a confecção das argamassas de referência e com adição foi o CII-Z-32 (Cimento Portland composto com Pozolana). As análises química e física do resíduo cerâmico mostraram que este atende às exigências da NBR12653 (2014) para uso como material pozolânico. O Índice de Atividade Pozolânica (IAP) obtido para o resíduo cerâmico aos vinte e oito dias de cura foi de 80,28%.

Palavras-chaves: Resíduo de Cerâmica Vermelha, Pozolana, Argamassa.

INTRODUÇÃO

Em tempos mais remotos, os recursos naturais eram considerados por muitos como sendo inesgotáveis. No decorrer dos anos esses recursos vêm sendo explorados exacerbadamente. Devido tal exploração, tais recursos naturais vêm tornando-se escassos e por isso, a humanidade passa a se preocupar com questões ambientais, afim de que se tenha um ambiente propício à qualidade de vida. Tal preocupação vem atingindo todos os setores, e na construção civil não poderia ser diferente, afinal trata-se de um dos setores da indústria de maior consumo em matéria prima e geração de resíduos.

Um dos componentes de maior destaque dentro da construção civil atual é o cimento Portland, onde segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (2009), tamanha utilização advém das características que lhe são inerentes, como trabalhabilidade, moldabilidade, alta durabilidade e resistência à cargas e ao fogo. No entanto, apesar de todas as vantagens da utilização do cimento na

construção civil, a produção de tal material traz consigo uma série de problemas ambientais.

Diante dos problemas causados pela produção do cimento e de tamanha utilização desse material, a utilização de materiais alternativos como substituintes parciais do mesmo, que venham a beneficiar o meio ambiente, e principalmente sem causar danos à resistência e durabilidade das construções, nos parece bastante atrativo para o cenário atual, onde toda e qualquer ação sustentável e consequentemente amigável ao meio ambiente é válida.

Nesse sentido, alguns estudos já foram realizados, e esses apontam que a substituição parcial do cimento Portland em argamassas e concretos pode ser feita por resíduos que apresentem propriedades pozolânicas, como é o caso dos resíduos de cerâmica vermelha (telhas, tijolos e blocos cerâmicos). A adição de pozolanas ao cimento Portland se torna viável, já que a principal propriedade de uma pozolana é a sua capacidade de reagir com o hidróxido de cálcio (CH) presente no cimento, não apenas consumindo-o ao invés de produzi-lo, mas também formando compostos estáveis de poder aglomerante, como o silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Assim, o hidróxido de cálcio (CH) liberado durante a hidratação do cimento reage com a pozolana, utilizada como substituição parcial do cimento, resultando em uma produção extra de silicatos de cálcio hidratados, o qual é o maior responsável pela resistência das pastas de cimento. Esta capacidade é característica das pozolanas e é chamada efeito pozolânico (OLIVEIRA & BARBOSA, 2006; TIBONI, 2007; VIEIRA, 2005).

A indústria cerâmica se caracteriza por um setor industrial de expressiva produção no país e com altas taxas de geração de resíduos. Diante disso, fica evidente o potencial de reaproveitamento desse resíduo. Porém é necessária uma análise mais detalhada das propriedades mecânicas das argamassas e concretos contendo essa adição, para que além de benefícios de cunho ambiental, essas tragam também qualidade e segurança às obras. Portanto, o presente trabalho objetiva a análise da atividade pozolânica de resíduo de cerâmica vermelha por meio do beneficiamento e caracterização desses resíduos e posterior substituição parcial do cimento Portland em argamassas.

MÉTODOS

Beneficiamento do Resíduo Cerâmico

O resíduo de cerâmica vermelha foi submetido a processo de moagem no aparelho para ensaio de abrasão de Los Angeles da marca solotest. Foram colocados no aparelho inicialmente 5 kg de resíduo juntamente às 12 esferas de aço que acompanham o aparelho, obtendo uma prévia desfragmentação do resíduo por meio de três séries de 250 rotações cada. Posteriormente se repetiu o processo para mais 5 kg de resíduo cerâmico.

Como apenas a moagem no aparelho de Los Angeles não foi suficiente para deixar a amostra com a finura desejada, optou-se pelo seu peneiramento, objetivando o uso do material passante na peneira da ABNT nº 200, ou seja, com abertura de 0,075 mm.

Caracterização da Amostra de Resíduo Cerâmico

a) Caracterização Física

A caracterização física do material se deu a partir do Ensaio de Área Específica pelo método de Blaine, NBR NM 76 (1998), além da determinação da umidade do resíduo cerâmico.

b) Caracterização Química

A técnica utilizada para a obtenção dos óxidos presentes na amostra foi a de espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX), realizada a partir de um instrumento do tipo EDX – 7000. A técnica baseia-se no princípio de que a absorção de raios-X pelo material provoca a ionização interna dos átomos, gerando uma radiação característica conhecida como fluorescência capaz de identificar os óxidos presentes da amostra.

Ensaio de Índice de Atividade Pozolânica com Cimento

O ensaio de Índice de Atividade Pozolânica com Cimento foi realizado de acordo com a NBR 5752 (2014).

a) Preparação das Argamassas

Foram preparadas duas argamassas com dosagens diferentes:

- Argamassa A contendo cimento CII-Z-32, areia normal e água;
- Argamassa B contendo 25% em massa de material pozzolânico em substituição à igual porcentagem de cimento CII-Z-32, areia normal e água.

Os corpos de prova de referência foram elaborados com argamassa composta de uma parte de cimento, três de areia normalizada, em massa, e com fator água/cimento fixado em 0,48. Enquanto que os com adição pozzolânica tiveram 25% do cimento substituído pelo resíduo de cerâmica vermelha moído. A quantidade em massa utilizada para a moldagem de seis corpos de prova da argamassa de referência (A) e seis corpos de prova com adição (B) está disposta na Tabela I.

Tabela I – Quantidade de material, em massa, para moldagem de seis corpos de prova cilíndricos de (50 x 100) mm

Material	Massa (g)	
	Argamassa A	Argamassa B
Cimento CP II-Z-32	624 ± 0,4	468 ± 0,4
Material pozzolânico	-	156 ± 0,2
Areia normal	1872 ± 0,2	1872 ± 0,2
Água	300 ± 0,2	300 ± 0,2

Fonte: NBR 5752 (2014).

A mistura dos materiais foi realizada a partir de um misturador mecânico da marca Pavitest com capacidade de 5L como especifica a NBR 7215 (1996).

b) Moldagem dos Corpos de Prova

A moldagem dos corpos de prova foi feita de acordo com a NBR 7215 (ABNT 1996) em moldes de dimensões 5 x 10 cm (diâmetro x altura), imediatamente após a confecção das argamassas.

c) Cura

Os corpos de prova foram submetidos a um período de cura inicial ao ar de 24 horas, sendo posteriormente retirados dos moldes e submersos em água saturada de cal para cura úmida até a data de ruptura.

d) Resistência à Compressão Simples

O ensaio de Resistência à Compressão Simples dos corpos de prova moldados com a argamassa de referência e com a argamassa contendo adição pozolânica foi realizado conforme a NBR 7215 (ABNT 1996). Em um equipamento do modelo Emic SSH300.

O Índice de Atividade Pozolânica (IAP), é dado pela equação A.

$$i = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \times 100 \quad (A)$$

Onde:

i é o Índice de Atividade Pozolânica (%);

f_{cB} é a resistência média dos corpos de prova moldados com cimento e adição pozolânica (MPa);

f_{cA} é a resistência média dos corpos de prova moldados apenas com cimento (MPa).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os ensaios realizados através dos métodos citados na metodologia, os resultados obtidos foram os seguintes:

Caracterização da Amostra de Resíduo Cerâmico

a) Caracterização Física

- Área Específica – Método do Permeâmetro de Blaine

Os valores de área específica obtidos no ensaio são expressos na Tabela II.

Tabela II - Área Específica

Altura	Diametro	Volume	M. Esp. (g/cm ³)	Massa Utilizada	
1,46	1,26	1,820	2,506	2,28	
K	1,89	Porosidade	0,5	Superfície Esp.	2073
Det.		Tempo	Temperatura	Viscosidade do ar	S cm ² /g
1.1		28,29	23,5	1,8E-05	2093
1.2		27,91	23,5	1,8E-05	2079
2.1		27,67	23,5	1,8E-05	2070
2.2		27,21	23,5	1,8E-05	2053

Realizando-se uma média para as quatro determinações, obtém-se uma área específica, ou finura, igual a 2073 cm²/g, valor inferior à área específica do Cimento Portland, material ao qual será utilizado como substituinte.

- Umidade

A Tabela III mostra o resultado obtido para a umidade do resíduo cerâmico.

Tabela III – Umidade da Amostra de RC

Cápsula	Tara (g)	Pu (g)	Ps (g)	Umidade
C1	6,81	20,51	20,13	2,85
C2	7,76	19,07	18,77	2,72
Média				2,78

Segundo a NBR 12653 (2014), a umidade é um dos requisitos que devem ser levados em consideração para que um material possa ser utilizado como material pozolânico em misturas com Cimento Portland. Tal norma define um valor máximo de 3% de umidade. Como pode se observar na Tabela III, o resíduo cerâmico em análise atende às exigências dessa norma quanto à umidade.

b) Caracterização Química

A Tabela IV expressa as porcentagens dos principais componentes químicos presentes na amostra de resíduo cerâmico.

Tabela IV – Caracterização Química do RC

Componentes	%
Si	52,486
Al	26,120
Fe	10,933

Analisando os dados obtidos na Tabela IV, pode-se observar que a composição química do Resíduo Cerâmico indica que o mesmo atende às exigências da NBR 12653 (2014) para que este possa ser utilizado como material pozolânico em misturas com Cimento Portland, pois a soma dos

compostos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ é igual a 89,54%, valor superior ao mínimo estabelecido por essa norma, de 70%.

A amostra de Resíduo Cerâmico pode então ser classificada como sílico-aluminosa, devido à sua composição, já que estes dois compostos são os de maior destaque na mistura. A coloração avermelhada deve-se ao teor de óxido de ferro presente no resíduo, que neste caso é igual a 10,93%.

Observando-se o teor de sílica (SiO_2) presente na amostra, nota-se que este é bastante elevado, o que é benéfico para a utilização de tal material como adição pozolânica, já que a sílica presente nesse material ao reagir com os compostos do cimento, produz os silicatos hidratados, que conferem resistência mecânica à pasta endurecida (AMORIM, et al., 2000).

Ensaio de Índice de Atividade Pozolânica com Cimento

a) Índice de Atividade Pozolânica com o Cimento

A Tabela V, expressa os valores dos ensaios de Resistência à Compressão Simples, obtidos para três corpos de prova de referência (argamassa contendo apenas cimento) e três corpos de prova moldados com adição pozolânica (argamassa com cimento e RC moído), aos sete dias de cura. Sendo a argamassa A, a argamassa de referência e a argamassa B, a com adição.

Tabela V – Resistência à Compressão Simples dos corpos de prova

	Argamassa A	Argamassa B
RCS (MPa) 7 dias	17,36	11,48
	21,55	15,32
	21,65	15,68
RCS (MPa) 28 dias	24,41	18,11
	25,27	19,11
	21,55	19,97

A resistência à compressão simples para cada argamassa é obtido através da média das resistências de três corpos de prova. Assim analisando-se os dados da Tabela V, tem-se para a argamassa A uma resistência de 20,18 MPa aos sete dias de cura e para a argamassa B, uma resistência de 14,16 MPa também aos sete dias de cura. Enquanto que para os 28 dias de cura a argamassa A obteve uma resistência de 23,74 MPa e a argamassa B 19,06

MPa de resistência à compressão simples. A evolução da resistência à compressão com o tempo em ambas as argamassas se dá principalmente devido a reação mais lenta de hidratação da belita (C_2S), um dos composto do cimento responsável pela resistência mecânica da pasta endurecida.

Com estes valores, pode-se calcular o Índice de Atividade Pozolânica para os 7 e 28 dias de cura, através da Equação (A). Obtendo-se um IAP igual a 70,16 % para os primeiros 7 dias e um IAP igual a 80,28% para os 28 dias, valor inferior ao mínimo exigido pela NBR 12653 (2014), que estabelece um valor mínimo de 90% de IAP para os 28 dias de cura para que o material possa ser utilizado como adição pozolânica ao cimento Portland. Segundo Vieira (2005), o aumento do Índice de Atividade Pozolânica também está relacionado ao tempo de cura e conseqüentemente, às reações mais retardadas oriundas da hidratação da belita, potencializando assim ainda mais o efeito positivo da substituição parcial do cimento pelo resíduo cerâmico moído. Tal afirmação indica, portanto, a manifestação lenta do potencial pozolânico do resíduo cerâmico.

Os benefícios trazidos pela adição pozolânica estão relacionados principalmente com a diminuição da porosidade e conseqüentemente da permeabilidade das estruturas contendo a adição. Segundo Metha e Monteiro (2008)⁽¹⁰⁾ dois efeitos podem ser constatados quanto à reação pozolânica. O primeiro refere-se ao refinamento do tamanho dos poros, onde a formação dos silicatos de cálcio hidratados e de outros materiais secundários ao redor das partículas de pozolana tende a preencher os vazios da estrutura com um material microporoso. Do mesmo modo, o segundo efeito referido como refinamento do tamanho do grão, a nucleação do CH ao redor das partículas finas e bem distribuídas da pozolana, tem o efeito de substituir os cristais grandes e orientados desta fase por numerosos cristais pequenos e menos orientados, além de produtos de reação pouco cristalinos, contribuindo assim para a impermeabilização da estrutura.

Outro ponto que deve ser observado na análise do IAP é a finura do material pozolânico utilizado. Estudos realizados por Vieira (2005) apontam um aumento não linear do IAP em função do aumento da finura do material. A Tabela VI expressa os valores obtidos por Vieira (2005).

Tabela VI – IAP com cimento do RC e sua variação com a finura

Finura Blaine (cm²/g)	IAP (%)
3427	60,5
3601	62,5
4267	63,3
4997	69,0
6039	81,4
6593	77,3
7273	75,6
7944	84,7
8209	79,7

Fonte: VIEIRA (2005). Elaboração: A autora

Pode-se observar com os dados da Tabela 12 que os melhores desempenhos se deram com finuras de 6039 cm²/g e 7.900 cm²/g, enquanto que para o maior valor de finura Blaine, não se obteve o maior dos índices de atividade pozolânica. Mostrando assim que o aumento do IAP se dá com o aumento da finura, porém, não de forma linear. Esta última observação tem implicações para a determinação de uma finura ótima da pozolana, tanto em relação à sua performance como material pozolânico quanto ao fator energético do seu processo de beneficiamento (VIEIRA 2005).

Do exposto, nota-se que uma maior finura do resíduo cerâmico em análise poderia resultar em um maior índice de atividade pozolânica. Segundo Bauer (2013), a finura do material está diretamente ligada à sua velocidade de reação, tendo em vista que um maior superfície de contato possibilita reações mais rápidas e, portanto, o aumento da finura melhora a resistência nas pastas de cimento, particularmente a resistência da primeira idade, já que tendo-se uma reação mais rápida têm-se conseqüentemente a formação mais rápidas dos compostos responsáveis pela resistência mecânica da pasta, como os silicatos hidratados de cálcio (C-S-H).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades pozolânicas dos resíduos de cerâmica vermelha moídos. Assim, com base nas informações obtidas nos ensaios e testes realizados e expostos na análise, pode-se aferir que os resultados encontrados seguem os seguintes preceitos:

- O resíduo cerâmico em análise atendeu aos requisitos químicos e físicos estabelecidos pela NBR 12653 (2014), no qual, a soma dos compostos $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ é igual a 89,54%, valor superior ao mínimo estabelecido por essa norma, que é de 70%;
- Embora o Índice de Atividade Pozolânica - IAP obtido ter sido inferior ao mínimo exigido pela NBR 12653 (2014) para que este possa ser utilizado como material pozolânico em substituição ao cimento Portland, o mesmo pode ser considerado como um material que apresenta atividade pozolânica, uma vez que o IAP apresentou 80,28% aos 28 dias de cura.

Como sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se uma pesquisa mais detalhada sobre a influência desta adição, principalmente em idades mais avançadas, recomenda-se ainda serem realizadas novas análises, sobretudo quanto à variação da finura do resíduo cerâmico, das porcentagens de substituição e também do fator água/cimento empregado, a fim de se estabelecer às condições ideais para a utilização do resíduo cerâmico como material pozolânico em substituição parcial do Cimento Portland.

REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. 2009. **Básico sobre o cimento**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/basico/basico-sobre-cimento>> Acesso em: 20 ago. 2015.

OLIVEIRA, Marília P. de & BARBOSA, Nomando P. **Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, DEag/UFCG, v.10, n.2, p.490–496, nov, 2006.

TIBONI, Rafaele. **A utilização da Cinza da Casca de Arroz de Termoelétrica como Componente do Aglomerante de Compósitos à Base de Cimento Portland**. 2007. s.p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

VIEIRA, Andressa de Araújo Porto. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. 2005. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – UFPB/CT, João Pessoa, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 76: Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais Pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais Pozolânicos. Rio de Janeiro, 2014.

AMORIM, L.V. et al. **Reciclagem de Rejeitos de Cerâmica Vermelha e da Construção Civil para Obtenção de Aglomerantes Alternativos**. Cerâmica Industrial, Bodocongó, PB. s.v. s.n. s.p., jul, 2000.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **CONCRETO: Microestruturas, Propriedades e Materiais**. 3. Ed. São Paulo: IBRACOM, 2008. 674 p.

BAUER, L. A. Falcão; **Materiais de Construção**. 5. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013, 288 p.

PARTIAL REPLACEMENT OF PORTLAND CEMENT BY RED CERAMIC WASTE IN MORTARS: STUDY OF POZZOLANIC ACTIVITY

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the pozzolanic activity of red ceramic residue on the partial replacement of Portland cement in mortars. The mortars were prepared by substituting 25% of the Portland cement for ground of ceramic residue with water cement's factor of 0.48. The concrete used to construct the reference mortars and those with addition was CII-Z-32 (compound of Portland pozzolana cement). The chemical analysis and physical ceramic waste showed that this meets the requirements of NBR12653 (2014) for use as pozzolânic material. The pozzolanic activity index (IAP) obtained for the ceramic waste to twenty-eight days cure rate was 80.28%.

KEYWORDS: Red Ceramic residue, Pozzolan, Mortars.