

AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE POZOLÂNICA DOS RESÍDUOS DE CERÂMICA VERMELHA PRODUZIDOS NO VALE DO ASSÚ/RN

Rodolfo de Azevedo Palhares¹; Arthur Ruan da Silva Pereira²; Kleber Cavalcanti Cabral³; Andreza Kelly Costa Nobrega⁴

¹ UFERSA / Departamento de Ciências Exatas / rodolfo.palhares@hotmail.com

² UFERSA / Departamento de Ciências Exatas / arthurruan_rn@hotmail.com

³ UFERSA / Departamento de Ciências Exatas / kleber.cabral@ufersa.edu.br

⁴ UFERSA / Departamento de Ciências Exatas / akcn123@hotmail.com

RESUMO

É sabido que tanto a indústria cimentícia, como ceramista contribuem muito para a geração de impactos ambientais. Seja pela emissão de CO₂ na atmosfera, como também pela geração de excessiva de resíduo, chegando até a 20%. O objetivo deste trabalho é analisar o potencial pozolânico dos resíduos provenientes das indústrias de cerâmica vermelha do vale do Assú/RN, com o intuito de que este material possa ser incorporado como matéria prima alternativa na fabricação de tijolo ecológico e similares, substituindo parcialmente na sua composição, o cimento Portland. Contribuindo assim para a redução do impacto ambiental produzido tanto pela indústria ceramista, como cimentícia. Para a avaliação da eficiência pozolânica do material, foi feita a preparação da amostra e em seguida a caracterização físico-química. Após ensaios realizados, percebeu-se que o material, possui as características mínimas estabelecidas em norma para ser considerado como material pozolânico.

Palavras-chave: Resíduo de cerâmica vermelha, Tijolo ecológico, Pozolânico, Cimento Portland

1. INTRODUÇÃO

A sociedade vem despertando para as questões ambientais ao longo das últimas décadas, e este conceito se estende tanto à construção civil, quanto às indústrias que produzem os materiais para o seu desenvolvimento.

Ao longo dos últimos anos, vários autores têm constatado em suas investigações, certa reatividade pozolânica dos resíduos, quando moído, proveniente da indústrias de cerâmica vermelha. De acordo com Vieira (2005), a maioria dos autores tem obtido resultados satisfatórios quanto ao desempenho mecânico de argamassas e concretos contendo esse tipo de adição.

O pó de cerâmica pode atuar como pozolana em argamassas, uma vez que a sílica (SiO_2) e a alumina (Al_2O_3) presentes nos resíduos cerâmicos reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), levando à formação de silicatos e aluminatos (MATIAS, 2014).

A incorporação destes resíduos em argamassas pode revelar-se, como um passo à frente para a inovação dos materiais de construção, constituindo-se de uma solução vantajosa, tanto do ponto de vista técnico, como econômico e ambiental.

A disposição inadequada destes resíduos pode acarretar múltiplos problemas ambientais, dentre os quais pode-se citar: a contaminação do solo, contaminação das águas subterrâneas, contaminação dos rios e lagos, surgimento de doenças, redução dos recursos naturais não renováveis, além de influenciar negativamente o ciclo biológico da vegetação presente.

A redução e o aproveitamento dos resíduos podem minimizar o consumo de recursos naturais e energéticos, o que implica, diretamente, num menor dispêndio econômico para as empresas da construção civil, e as indústrias que produzem materiais de construção.

O desenvolvimento de materiais cimentícios alternativos com a inserção de resíduo cerâmico, além de reduzir os impactos ambientais relacionados à destinação final destes, pode de algum modo, proporcionar benfeitorias as propriedades mecânicas, de durabilidade, e possível desempenho térmico de novos materiais.

Desta forma, definiu-se por meio de um programa experimental, informações técnicas sobre o resíduo cerâmico de estudo, proveniente do município de Itajá, no estado do Rio Grande do Norte, vislumbrando a sua utilização como substituto produção de argamassas.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como principal objetivo avaliar a potencialidade dos resíduos de cerâmica vermelha, originários de uma indústria ceramista localizada no município de Itajá/RN, para a produção de argamassas.

3. METODOLOGIA

A etapa experimental corresponde à caracterização mecânica, física e química de resíduos recolhidos na indústria de cerâmica vermelha do município de Itajá/RN, bem como à formulação de argamassas com incorporação dos resíduos.

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos. E os ensaios foram feitos na UFERSA Campus Mossoró, no IFRN Campus Mossoró e na UERN Campus Mossoró.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 CIMENTO

O aglomerante utilizado para a confecção das argamassas foi o CII-Z-32, fornecido pelo representante Apodi. A escolha do tipo de cimento, consiste no fato do mesmo ser usualmente empregado nas obras locais.

No laboratório, o mesmo foi acondicionado em sacos plásticos devidamente lacrados, até o momento de sua utilização. Isto para que não ocorresse qualquer alteração quanto as suas propriedades.

3.1.2 AGREGADO MIÚDO

O agregado miúdo (areia) utilizado para a produção das argamassas, passado na peneira 4,8 mm (nº 4), foi oriundo do município de Angicos, Rio Grande do Norte.

3.1.3 RESÍDUO DE CERÂMICA VERMELHA

O material utilizado como amostra de resíduo cerâmico foi proveniente de uma indústria ceramista, localizada no município de Itajá, Rio Grande do Norte.

O mesmo consistia de fragmentos de cerâmica vermelha (tijolos) com dimensões variadas. Manualmente, reduziu-se o material recolhido a cacos, com dimensões adequadas à introdução num moinho.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 MOAGEM DO RESÍDUO CERÂMICO

Procedeu-se com a moagem do resíduo de cerâmica vermelha, pelo método de ensaio de abrasão de Los Angeles, no aparelho da marca *Solotest*, disponibilizado pelo Laboratório de Mecânica dos Solos da UFERSA Campus Mossoró, Rio Grande do Norte (Figura 1).



Figura 1. Aparelho de Ensaio de Abrasão de Los Angeles.

2.2.2 PENEIRAMENTO

Visando a obtenção de uma finura adequada do material a ser utilizado nos ensaios, o material resultante da moagem foi submetido a uma nova peneiração, na peneira de abertura de malha de 0,075 mm (Nº 200). O procedimento foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos da UFERSA Campus Mossoró, Rio Grande do Norte.

3.2.3 MASSA ESPECÍFICA

A primeira caracterização física do resíduo cerâmico em estudo, consistiu na determinação da massa específica, de acordo com a NBR 6474 (ABNT, 1984), no qual prescreve o método para determinação da massa específica do cimento portland e outros materiais em pó.

Para a execução deste ensaio, utilizou-se o frasco volumétrico de Le Chatelier de vidro de borossilicato (resistente ao calor e aos elementos químicos), com capacidade de 250 cm³ até a marca zero da escala, e graduação que permite leituras com precisão de 0,05 cm³. O frasco foi preenchido com água, uma vez que este fluido não reage quimicamente com a argila.

A massa específica foi calculada por meio da seguinte Equação 1.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Onde, ρ : Massa específica ; m : massa da amostra (g) ; V : é o volume deslocado em função da massa do material adicionado, ou seja, compreende-se entre a diferença entre V_2 e V_1 (g/cm^3).

3.2.4 ÁREA ESPECÍFICA

A área específica, determinada como a finura do material, foi apurada pelo método de permeabilidade a ar (Método de Blaine), conforme preconizado na NBR NM 76 ABNT (1998). O equipamento utilizado foi o permeômetro de Blaine, e por meio deste instrumento, se observou o tempo requerido para uma determinada quantidade de ar fluir através de uma camada compactada do material, de dimensões e porosidade especificadas. Sendo a área específica proporcional a esse tempo como podemos observar na Figura 2.

Devido à dificuldade de compactação, o resíduo cerâmico foi especificado com ($\varepsilon = 0,55$), e desta forma massa ensaiada foi calculada por meio Equação 2.

$$m = \rho V(1 - \varepsilon) \quad (2)$$

Onde, ρ : Massa específica (g/cm^3); m : Massa da amostra (g); V : Volume da camada compactada (g/cm^3); ε : Porosidade.



Figura 2. Ensaio de área específica

O cálculo da área específica é dado pela seguinte equação:

$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{\varepsilon^3}}{(1-\varepsilon)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1n}} \quad (3)$$

Onde, K : Constante do aparelho; ε : Porosidade da camada; t : Tempo medido (s); ρ : Massa específica; n : Viscosidade do ar à temperatura do ensaio.

3.2.5 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA AMOSTRA

Para a análise química do material de estudo, e obtenção quantitativa dos elementos químicos presentes na amostra, realizou-se a técnica de fluorescência de raios-X (FRX), com energia dispersiva. O equipamento utilizado foi o espectrômetro do tipo EDX – 7000 da *Shimadzu*.

Para a obtenção dos resultados, foi realizada uma varredura sob faixa de medição do sódio ao urânio (Faixa de análise: 11Na a 92U), de tal forma a se detectar os elementos químicos constituintes da amostra, prioritariamente a presença de sílica e alumina, uma vez que estes elementos reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), cal hidratada, levando à formação de silicatos e aluminatos.

3.2.6 ENSAIO DO ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CIMENTO

Este ensaio foi conduzido de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2012). Para se constatar a pozolanicidade do material, a argamassa com 25% de substituição de cimento por adição deve ter resistência à compressão maior ou igual a 90% da resistência à compressão da argamassa de referência (sem substituição), conforme a NBR 12653 (ABNT 2014).

Foi realizado o preparo de doze argamassas com geometria cilíndrica de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura, sendo seis de referência, contendo apenas cimento Portland (Argamassa A), e três argamassas com substituição parcial de 25% do cimento Portland (Argamassa B).

A mistura e moldagem seguiram as prescrições da NBR 7215 (ABNT, 1996). Para a homogeneização dos materiais utilizou-se um misturador mecânico com capacidade de 5L.

Após a mistura dos materiais, as argamassas foram colocadas nos moldes cilíndricos, em quatro camadas, aproximadamente iguais, aplicando-se, com o auxílio de soquete metálico, 30 golpes homogeneamente distribuídos para cada camada. No topo dos corpos de prova, fez-se a razamento como pode ser observado na Figura 3.



Figura 3. Moldagem dos corpos de prova.

Após moldagem, os corpos de prova foram submetidos a processos de cura por 24 h a temperatura ambiente, e após retirada dos moldes, durante 27 dias submerso em água, de acordo com a NBR 7215 (ABNT, 1996)

3.2.6.1 Ensaio de resistência a compressão

O ensaio de resistência à compressão simples, foi realizado de acordo com a NBR 7215 (ABNT 1996), na prensa mecânica do Laboratório de Materiais de Construção da UFERSA Campus Mossoró.

A ruptura à compressão dos corpos de prova foi realizada aos 14, e 28 dias e os valores obtidos para as argamassas com substituição (Argamassa B), foram comparados com os valores de resistência à compressão das argamassas de referência (Argamassa A).

Com os resultados de resistência à compressão, determina-se o índice de atividade pozolânica (IAP), de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2012), por meio da Equação 4.

$$i = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \times 100 \quad (4)$$

Onde, *i*: Índice de atividade pozolânica (%); *f_{cB}*: Resistência média dos corpos de prova moldados com cimento e adição pozolânica (MPa); *f_{cA}*: Resistência média dos corpos de prova moldados apenas com cimento (MPa).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 MASSA ESPECÍFICA

Para determinação da massa específica do resíduo cerâmico, realizou-se o procedimento de ensaio duas vezes, sendo o resultado final dado pela média dos resultados obtidos para cada análise individual.

Para a análise 1 obteve-se uma massa específica de 2,688 g/cm³, para a análise 2, obteve-se uma massa específica de 2,673 g/cm³. Desta forma, como resultado final, massa específica de 2,80 g/cm³.

Comparando o resultado de massa específica do resíduo cerâmico requerido, com o do cimento Portland empregado, descrito na Tabela 5, verifica-se que embora pouca diferença, na ordem de 0,18 g/cm³, o resíduo cerâmico possui massa específica inferior à do cimento, ou seja, possui em seu interior, mais espaços vazios.

4.2 ÁREA ESPECÍFICA

Para determinação da área específica do resíduo cerâmico, realizou-se o procedimento de ensaio duas vezes, sendo o resultado final dado pela média dos resultados obtidos para cada análise individual.

Observou-se uma leve variação de tempo para cada leitura, e desta forma a área específica, ou finura, foi dada pela média das dez leituras, obtendo assim, resultado final igual a 3492 cm²/g.

De acordo com Matias (2014), o nível de atividade pozolânica das argilas cozidas depende de aspectos como, a quantidade de sílica e alumina presentes no

material, bem como da finura dos fragmentos de cerâmica. Desta forma, torna-se essencial a caracterização deste material quanto aos aspectos físico-químicos.

4.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Na Tabela 1, apresenta-se os resultados quantitativos, equivalente a porcentagem de cada elemento constituinte da amostra ensaiada.

Si	53,417 %
Al	25,025 %
Fe	11,032 %
Ca	4,535 %
K	4,468 %
Ti	1,054 %
Mn	0,138 %
S	0,118 %
V	0,048 %
Sr	0,029 %
Cr	0,028 %
Zr	0,025 %
Cu	0,023 %
Zn	0,020 %
Ag	0,017 %
Y	0,008 %
Ni	0,007 %
Ga	0,005 %
Nb	0,002 %

Tabela 1 - Caracterização química do resíduo de cerâmica vermelha

A NBR 12653 (ABNT 2014) estabelece que o somatório dos compostos SiO_2 , Al_2O_3 , e Fe_2O_3 , para os materiais da classe N (argila calcinada), deve ser maior ou igual à 70%. Considerando os resultados diagnosticados, têm-se para estes compostos, um somatório de 89,48%, valor superior ao mínimo estabelecido por norma.

4.4 ENSAIO DE ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CIMENTO

4.4.1 ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA COM CIMENTO

A Tabela 2 expressa os valores dos ensaios de Resistência à Compressão simples, obtidos para seis corpos de prova de referência, e seis corpos de prova moldados com adição pozolânica, rompidos com 14 e 28 dias, sendo rompido em cada idade de cura mencionada, três corpos de prova de cada categoria.

		RC 14 dias (MPa)	RC 28 dias (MPa)
Argamassa A	CP 1	10,88	12,28
	CP 2	11,52	12,23
	CP 3	9,23	10,92
Argamassa B	CP 4	11,42	16,29
	CP 5	8,51	15,74
	CP 6	9,89	11,67

Tabela 2 - Resultados de resistência à compressão.

A resistência à compressão simples para cada argamassa é obtida através da média das resistências de cada corpo de prova. Desta forma, analisando os resultados expostos na Tabela 2, tem-se aos 14 dias de cura, para a argamassa A uma resistência de 10,54 MPa e para a argamassa B, uma resistência de 9,94 MPa. Aos 28 dias, tem-se para a argamassa A uma resistência de 11,81 MPa e para a argamassa B, uma resistência de 15,24 MPa.

Como pode se observar analisando os resultados, houve uma maior evolução de resistência para a argamassa B em relação a argamassa A, e desta forma, obteve-se para argamassa com adição pozolânica uma maior resistência à compressão aos 28 dias.

Esses resultados são esperados, uma vez que na hidratação da pasta de cimento, são produzidos cristais, com propriedades aglomerantes, e hidróxido de cálcio (cal hidratada), que não contribui para a resistência mecânica da pasta endurecida, e dependendo da sua quantidade torna a pasta suscetível à ataques químicos. Desta forma, o material pozolânico reage quimicamente com a cal

hidratada, e produz novos produtos com propriedades aglomerantes, que podem contribuir para a resistência à compressão de argamassas em idades mais avançadas (LIMA, 1999).

Com os resultados obtidos, e por meio da equação (6), calculou-se o Índice de Atividade Pozolânica através da equação (6). Obtendo-se um IAP igual a 129 %.

Desta forma, de acordo com as exigências da NBR 12653 (ABNT 2014), o resíduo cerâmico analisado atende aos parâmetros estabelecidos, já que esta norma prevê um valor de IAP mínimo de 95%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desta forma, diante dos resultados diagnosticados e constatados com os parâmetros estabelecidos pela NBR 12653 (ABNT 2014), o referido resíduo cerâmico se apresenta como um potencial alternativo para a utilização como material pozolânico em misturas com cimento Portland.

Considerando os resultados obtidos, quanto a análise química, têm-se um somatório de 89,48% para os compostos: Sílica (Si); Alumina (Al); e Ferro (Fe), valor superior ao mínimo estabelecido pela NBR 12653 (ABNT 2014), que é de 70%.

Da mesma forma, de acordo com as exigências da NBR 12653 (ABNT 2014), o resíduo cerâmico analisado atende aos parâmetros estabelecidos, já que a NBR 12653 (ABNT 2014) prevê um valor de IAP mínimo de 95%.

Sendo assim, o resíduo cerâmico de estudo apresentou-se como um potencial material pozolânico, e a sua incorporação em argamassas pode revelar-se, como um passo à frente para a inovação dos materiais de construção, constituindo-se de uma solução vantajosa, tanto do ponto de vista técnico, como econômico e ambiental.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 6474**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, ABNT, 1984.

ABNT. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, ABNT, 1996.

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

ABNT. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, ABNT, 2014.

ABNT. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, ABNT, 2014. MATIAS, G. M. L. **Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica**. 2014. 341 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

MATIAS, G. M. L. **Argamassas de reabilitação com resíduos de cerâmica**. 2014. 341 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

VIEIRA, A. A. P. **Estudo do aproveitamento de resíduos de cerâmica vermelha como substituição pozolânica em argamassas e concretos**. 2005. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2005.

ASSESSMENT POZZOLANICITY WASTE RED CERAMICS PRODUCED IN VALLEY ASSU/RN

ABSTRACT

It is known that both the cement industry as a ceramist contribute much to the generation of environmental impacts. Be the CO₂ in the atmosphere, as well as the generation of excessive waste, reaching 20%. The objective of this study is to analyze the potential pozzolanic of waste from the red ceramic industries Valley Assú / RN, in order that this material can be incorporated as alternative raw material in the manufacture of ecological and similar brick, replacing partially in its composition Portland cement. thus contributing to reducing the environmental impact produced by both the ceramics industry, such as cement. To evaluate the efficiency of pozzolanic material, it was made sample preparation and then the physico-chemical characterization. After performing tests, it was noticed that the material has the minimum requirements established in standard to be considered as pozzolanic material.

Key-words: Red ceramic residue, Ecological brick, pozzolan, Portland cement