ESTUDO EXPERIMENTAL DE ARGAMASSAS COM RESÍDUO DE CINZA VOLANTE DE MINÉRIO DE CARVÃO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081146

BICA; BRUNO O.[1]; PADILHA; FRANCINE[2]; ROCHA; JANAÍDE[3]; GLEIZE; PHILIPPE[4]
[1234]UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA.
E-MAIL DO AUTOR CORRESPONDENTE: BRUNOBICA01@GMAIL.COM

RESUMO: O trabalho propõe a utilização de cinza volante proveniente de carvão mineral como substituição parcial aos agregados de uma argamassa convencional produzida com cimento Portland CP-IV. Além da caracterização dos materiais, foram conduzidos ensaios nas pastas e na argamassa nos estados fresco e endurecido. A adição retardou o início das reações cinéticas de hidratação e aumento aproximadamente 36% o tempo de início de pega Observou-se aumento de 27,3% na resistência à compressão e de 12,27% na resistência à tração na flexão. Os resultados demonstraram que a substituição parcial da areia pela cinza foi benéfica ao desempenho mecânico das matrizes estudadas.

PALAVRAS-CHAVES: Cinza volante, argamassa, resíduos.

ABSTRACT: The work proposes the use of fly ash from coal as a partial replacement for the aggregates of a conventional mortar produced with CP-IV Portland cement. In addition to the characterization of the materials, tests were conducted on pastes and mortar in the fresh and hardened states. The addition delayed the onset of kinetic hydration reactions and increased setting onset time by approximately 36%. An increase of 27.3% in compressive strength and 12.27% in flexural tensile strength was observed. The results showed that the partial replacement of sand by ash was beneficial to the mechanical performance of the matrices.

KEYWORDS: Fly ash, mortar, waste.

1 | INTRODUÇÃO

A industrialização, o crescimento populacional e o acelerado desenvolvimento da infraestrutura das cidades são acompanhados por elevados números de emissão de gases de efeito estufa. Cimento, que é a mercadoria importante da indústria da construção é responsável pela emissão de cerca de 7% destes gases (HAWILEH et. al., 2017; DEGLOORKAR & PANCHARANTHI, 2021).

A utilização de adicionais minerais na composição de matrizes objetiva a diminuição da produção e uso do cimento Portland, dos agregados naturais, além de mitigar os problemas ambientais. O uso de materiais alternativos na construção civil pode tornar a construção civil mais econômica e sustentável (WARDEN, 2005).

Adicionalmente, a utilização de resíduos minerais, como a cinza volante, pode promover expressivos ganhos nas propriedades das pastas e argamassas de cimento Portland: melhorias na trabalhabilidade, aumento da atividade pozolânica, densificação

da microestrutura e consideráveis ganhos de resistência em ensaios mecânicos.

Neste cenário, o Brasil produzir cerca de 3 milhões de toneladas de cinzas volantes (provenientes do minério do carvão) anualmente. A descarga ambientalmente inadequada desse material causa sérios riscos à saúde por inalação de material particulado fino, influenciando, por exemplo, no mecanismo de reparo do DNA e formação de espécies orgânicas reativas, e à poluição ambiental (MATZENBACHER et al., 2017).

Diante disso, o uso de resíduos oriundos e a consequente redução na produção e uso do cimento Portland pode reduzir a emissão de gases nocivos e produzir significativos benefícios ambientais. Gartner & Sui (2018) e John et al. (2021) ressaltam a necessidade do emprego de ligantes alternativos para reduzir a emissão de dióxido de carbono e pegada de carbono. Por isso, diferentes tecnologias e materiais de diferentes naturezas que possibilitem a produção de materiais alternativos, mas igualmente eficientes estão no radar de interesses industriais e acadêmicos.

Nesse contexto, a pesquisa busca caracterizar de forma físico-química uma cinza proveniente de resíduo de carvão e analisar sua influência em ensaios de pastas e argamassas nos estados fresco e endurecido.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

O teor de substituição do agregado miúdo por cinza volante de minério de carvão foi estabelecido em 1/7 ou 14,29%. O teor foi adotado para que a cinza adicionada na mistura tivesse a mesma proporção de cimento utilizado e para verificar a influência dessa substituição nas propriedades mecânicas da argamassa. Para tanto, foram realizados ensaios de índice de consistência, tempo de pega, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e reatividade.

2.1 Materiais e métodos

O cimento utilizado na pesquisa foi o Cimento Portland CP IV-32 com massa específica igual a 3,10 g/cm³. As composições químicas do cimento Portland e do resíduo (cinza volante de minério de carvão) foram obtidas por espectrometria de fluorescência por raios-X. O ensaio foi realizado com o equipamento EDX-7000 pertencente ao laboratório ValoRes da Universidade Federal de Santa Catarina. Identificou-se óxido de cálcio (CaO) e dióxido de silício (SiO2) como os principais componentes químicos do cimento. Estes representam, respectivamente, 51,44% e 31,12% da composição do material. Outros óxidos como o óxido de alumínio (Al2O3) e óxido férrico (Fe2O3) representam cerca de 13,56%. Já o resíduo é formado principalmente por sílica (63,48%) e alumina (23,64%). Ainda, é possível destacar a presença de óxido de cálcio (1,74%), óxido de potássio (3,64%) e óxidos de ferro (4,81%).

A distribuição granulométrica do agregado miúdo (areia fina natural) e do resíduo foi obtida através da NBR NM 248 (ABNT, 2003). A Figura 1 apresenta um gráfico comparativo da granulometria destes materiais.

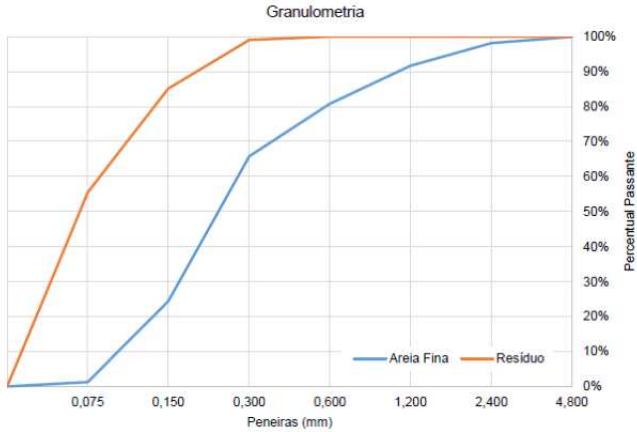


Figura 1 – Granulometria dos materiais

Fonte: Autores

A massa específica do agregado miúdo e do resíduo foram obtidas pelo método do picnômetro e possuem valores médios de 2,72 g/cm³ e 2,25 g/cm³, respectivamente.

Também foram realizados ensaios para determinar a superfície específica dos materiais, de acordo com a NBR 16372 (ABNT, 2015), utilizando o Método de Blaine. A porosidade de 0,5 foi utilizada para o cálculo e tempo medido foi de 67,15 segundos para o cimento e 14 segundos para o resíduo. Assim, a superfície específica do cimento resultou em 3786,33 cm²/g e do resíduo 2425,09 cm²/g.

Foi utilizado um aditivo superplastificante a base de policarboxilatos na confecção das argamassas. O uso do aditivo químico visou compensar a eventual perda na trabalhabilidade das argamassas produzidas.

Para a produção das argamassas foi adotado um traço de referência de 1:7 e relação a/c de 0,5 e um traço com substituição parcial do resíduo. A adição de superplastificante foi realizada conforme a necessidade da mistura para atingir um espalhamento pré-definido de 225 ± 20 mm. Assim, foram produzidas duas misturas: Mistura REF 1:7 (cimento:areia) e Mistura RES 1:1:6 (cimento:resíduo:areia).

Na mistura RES, substituiu-se parte da areia por resíduo, entretanto, manteve-se a relação volumétrica de agregado miúdo (areia+resíduo) em relação a argamassa de referência (REF). Também houve a necessidade de aumentar a relação a/c inicial para 0,7 na mistura RES por esta exigir uma maior quantidade de água para que fossem mantidas as características de coesão, homogeneidade e trabalhabilidade. A Tabela 1 exibe o quantitativo de materiais utilizados na produção dos CPs prismáticos com e sem resíduo.

Argamassa	Cimento (g)	Areia (g)	Cinza (g)	Água (g)	Aditivo (g)
REF	310	1904	0	217	12,4
RES	310	1586,67	317,67	217	15,5

Tabela 1 – Quantitativo de materiais na confecção das argamassas

Para determinar os tempos de pega e verificar a influência do resíduo, aplicou-se os procedimentos descritos na norma NBR 16606 (ABNT, 2018) e NBR 16607 (ABNT, 2018) utilizando o aparelho de Vicat.

As moldagens foram feitas de acordo com NBR 5738: 2015. Foram utilizados corpos de prova confeccionados em formas prismática com dimensão 40x40x160mm para os ensaios de tração na flexão e compressão. Já para o ensaio de reatividade foi utilizado corpos de prova cilíndricos de 50x100mm, de acordo com a norma NBR 5752: 2014. Os CP's prismáticos permaneceram em caixa de isopor com sua superfície exposta protegida com pedaço de vidro durante 24 horas, a fim de evitar a perda de água da mistura para o ambiente externo. Os CP's cilíndricos foram mantidos em um tanque com água e cal, dentro da câmara úmida até os 28 dias de cura.

A resistência a tração na flexão foi realizada em três amostras para cada mistura utilizando CPs prismáticos de dimensões iguais a 40x40x160 mm para 28 dias de idade de cura. O ensaio seguiu o normatizado pela NBR 5738 (ABNT, 2015). Os ensaios de resistência à compressão simples seguiram as recomendações da NBR 13279 (ABNT, 2005). Para tanto, foram utilizadas as metades dos CPs do ensaio de resistência à tração na flexão.

O ensaio de reatividade foi realizado de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014). Para o ensaio foram produzidas duas misturas, uma composta por 100% de Cimento Portland, areia e água (REF) e outra composta por 75% de Cimento Portland e 25% de resíduo, areia e água. Foram confeccionados 3 corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100m de altura para cada mistura com idades de 28 e 63 dias.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Índice de consistência

As duas argamassas atingiram o espalhamento inicialmente estabelecido. A média de espalhamento para argamassa REF foi de 229 mm e para argamassa RES de 234,3 mm. Esta última exigiu maior teor de aditivo superplastificante. O aumento do teor de aditivo ocorreu devido as partículas de resíduo serem menores e apresentarem maior área de contato que as partículas da areia, retendo mais água e diminuindo a trabalhabilidade.

3.2 Tempo de pega

Na pasta com resíduo foi incorporado apenas a parcela mais fina do material (passante pela peneira 0,075mm). O tempo de início de pega obtidos foram de 289 min para argamassa REF e 395 min para argamassa RES. A Figura 2 apresenta o gráfico das

leituras do ensaio de tempo de pega nas pastas e sua tendência de comportamento para um intervalo de 0 a 784 minutos (valor máximo estipulado pela polinomial de tendência).

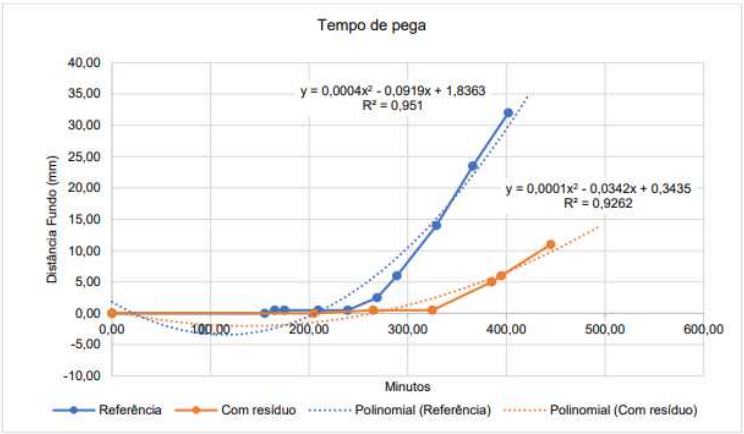


Figura 2 – Resultado do ensaio de tempo de pega

Fonte: Autores

O tempo final da pega pode ser estipulado através da polinomial de tendência apresentado na Figura 2. Dessa forma, os tempos finais de pega foram estipulados em 424 min para a argamassa REF e 784 min para argamassa RES. A adição da cinza funcionou como um retardante no início das reações cinéticas de hidratação da pasta, aumentando em aproximadamente 36% o tempo de início de pega. O tempo do fim de pega não pode ser mensurado. Ressalta-se, entretanto, que os valores também podem ter sido diretamente influenciados pela utilização de aditivo superplastificante.

3.3 Resistência à tração na flexão

Os valores médios obtidos de resistência para esse ensaio estão apresentados na Tabela 2.

Argamassa	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
REF	2,77	0,08	2,81
RES	3,11	0,18	5,91

Tabela 2 – Resistência média à tração na flexão

O resíduo proporcionou um aumento de resistência de 12,27% em relação a argamassa de referência. A incorporação de resíduos nas matrizes cimentícias aumentou a quantidade de componentes ligados diretamente com a formação dos produtos de hidratação da pasta, como alumina e sílica, o que pode ter favorecido ao ganho de

resistência observado. Ainda, devido sua granulometria mais fina, as partículas da cinza volante preenchem os poros das argamassas, densificando sua matriz cimentícia e, consequentemente, melhorando seu desempenho mecânico. Assim como observado nos resultados dos tempos de pega, a adição de superplastificante nas misturas podem ter influenciado nos valores dos ensaios de resistência à tração.

3.4 Resistência à compressão simples

Os resultados obtidos, exibidos na Tabela 3, apresentaram a mesma tendência que os valores encontrados no ensaio de resistência a tração na flexão.

Argamassa	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
REF	9,41	0,54	5,79
RES	11,98	0,32	2,65

Tabela 3 – Resistência média à compressão simples

A incorporação do resíduo melhorou a resistência a compressão em torno de 27,31% em relação a argamassa de referência. Assim como observado nos resultados de tração na flexão, os melhores resultados da argamassa com adição do resíduo devem-se principalmente a maior quantidade de produtos de hidratação do cimento e a maior densificação das matrizes cimentícias devido ao tamanho das partículas da cinza. O uso do superplastificante pode ter sido fator determinante no aumento da resistência à compressão das argamassas através do aumento da fluidez e coesão das argamassas.

3.5 Reatividade (índice de desempenho)

Os resultados obtidos no ensaio de reatividade são mostrados pela Tabela 4.

Idade	Argamassa	Resistência média (MPa)	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
28 dias	REF	12,41	0,08	0,63
	RES	10,78	0,37	3,41
63 dias	REF	17,39	0,71	4,07
	RES	16,48	0,45	2,75

Tabela 4 – Resistência média à compressão no ensaio de reatividade

A substituição do cimento por 25% do resíduo reduziu a resistência das argamassas. Entretanto, a partir da média das resistências à compressão foi calculado o índice de desempenho do material, resultando em 87% aos 28 dias e 95% aos 63 dias.

Pode-se afirmar, a partir dos resultados obtidos, que a mistura com 25% de resíduo apresentou desempenho mecânico coerente. Tal fato indica que este resíduo pode apresentar atividade pozolânica devido sua incorporação ter diminuído as resistências

em apenas 13% aos 28 dias e apenas 5% aos 63 dias em relação a argamassa referência. Assim, supõem-se que a cinza, bem como o cimento CP IV, ganham resistência ao longo do tempo, praticamente igualando os resultados obtidos da argamassa referência com a argamassa com resíduo em idades mais avançadas.

4 | CONCLUSÃO

Após a análise dos resultados obtidos no programa experimental proposto, a pesquisa obtive as seguintes conclusões:

- A adição da cinza funcionou como um retardante no início das reações cinéticas de hidratação da pasta, aumentando em aproximadamente 36% o tempo de início de pega. O tempo do fim de pega não pode ser mensurado.
- A necessidade de maior quantidade de aditivo nas pastas RES, para atingir abertura semelhante à da pasta referência, ocorreu devido as partículas de resíduo serem menores e apresentarem maior área de contato que as partículas da areia.
- Foi observado um acréscimo de 27,3% na resistência à compressão e de 12,27% na resistência à tração na flexão das argamassas. Isso pode indicar que a substituição parcial da areia pela cinza foi benéfica quanto ao desempenho mecânico das matrizes cimentícias. O uso do superplastificante pode ter influenciado no aumento da das resistências devido aos efeitos benéficos na fluidez e coesão.
- Durante os ensaios de reatividade, houve uma diminuição da resistência à compressão em torno de 13% das amostras. A redução foi considerada pequena e os resultados indicam um bom nível de atividade pozolânica do resíduo.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005: Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólido**. Rio de Janeiro, 2004.

2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16372: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine)**. Rio de Janeiro, 2015.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16606: Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal**. Rio de Janeiro, 2018.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16607: Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega**. Rio de Janeiro, 2018.

6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

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

8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2003.

9. DEGLOORKAR, N. K.; PANCHARATHI, R. K. **Use of particle packing methods for development of lime fly ash-based mortars for repair of heritage structures**. Materials Today: Proceedings. India, 2021.

10. GARTNER, T.; SUI, T. **Alternative cement clinkers**. Cement Concrete Resistence. 114, 27–39, https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.002. 2018

11. HAWILEH, R. A.; ABDALLA, J. A.; FARDMANESH, F.; SHAHSANA, P.; KHALILI, A. **Performance of reinforced concrete beams cast with different percentages of GGBS replacement to cement**, Arch. Civ. Mech. Eng. 17 (3) 511–519, 2017.

12. MATZENBACHER, C. A. et al. **DNA damage induced by coal dust, fly and bottom ash from coal combustion evaluated using the micronucleus test and comet assay in vitro**. Journal of hazardous materials, v. 324, p. 781-788, 2017.

13. SAVASTANO, H.; WARDEN, P. G. **Special theme issue: Natural fibre reinforced cement composites**. Cement and Concrete Composites, v. 27, n. 5, p. 517, maio 2005. Disponível em: https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958946504001556.

14. SHAISE, K.; JOHN, Y. N.; GIRIJA, K. **Effect of source materials, additives on the mechanical properties and durability of fly ash and fly ash-slag geopolymer mortar: A review.** Construction and Building Materials. 280. 122443, India, 2021.