

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE CINZAS DE OLARIA EM MATRIZES CIMENTÍCIAS UTILIZANDO CP EM MINIATURA

Cindy Oliveira de Souza, Letícia da Silva Jesus, Thailane de Jesus Chagas dos Santos, Fernanda Nepomuceno Costa.

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/Laboratório de Materiais de Construção, Rua Rui Barbosa, 710, Centro – 44380-000 – Cruz das Almas-BA, Brasil, cindyoliveira@aluno.ufrb.edu.br, leticiasilva@aluno.ufrb.edu.br, thailanesantos@aluno.ufrb.edu.br, fernandacosta@ufrb.edu.br.

Resumo

O eucalipto é a árvore mais utilizada no Brasil como fonte de energia em variadas indústrias. Uma dessas aplicações é constatada como principal fonte de combustível na produção de blocos cerâmicos, em olarias. Porém, essa queima da biomassa nas indústrias gera uma grande quantidade de cinzas, sendo muitas vezes descartadas em locais inapropriados. Nessa perspectiva, o presente trabalho busca avaliar a influência da resíduo de cinzas de caldeira de olaria (RCCO), coletada numa fábrica de bloco cerâmico situada no Recôncavo Baiano. O RCCO foi utilizado na substituição parcial do cimento em diferentes teores: 0% (REF), 5% e 10%, adotando uma relação água/(cimento+RCCO) de 0,47. Para mais, foi empregado uso de técnicas de amostras em miniatura comparando os resultados com os de amostras conformadas em moldes cilíndricos de 50 mm de diâmetro conforme NBR 7215:2019. Como resultado, tem-se que o RCCO possui potencial para ser empregado em compostos cimentícios no teor de 5% devido à proximidade das suas resistências aos valores de referência. Ademais, observou-se que o uso de técnicas em miniatura não afetou a avaliação de desempenho.

Palavras-chave: Resíduos. Eucalipto. Amostras em miniatura. Cinzas. Substituição.

Área do Conhecimento: Engenharia Civil

Introdução

A geração de resíduos sólidos e sua destinação inadequada é uma problemática pertinente na atualidade. A Associação Internacional de Resíduos Sólidos (ISWA) estima que o custo da gestão de resíduos é de três a cinco vezes maior que o necessário para realizar soluções efetivas. Além disso, a destinação inadequada dos resíduos proporciona impactos diretos nas condições ambientais e até mesmo na saúde da população de seu entorno (ABRELPE, 2022). Nesse sentido, pesquisas em resíduos com potencial para substituição do cimento, material industrializado mais consumido, configuram um grande papel na busca pela mitigação desses impactos.

Dentro do processo industrial que atende demandas da construção civil, tem-se as fábricas de blocos cerâmicos que utilizam em larga escala a queima da lenha em seu processo produtivo, como geração de energia em seus fornos. A madeira de eucalipto é o combustível mais utilizado para esse fim e tal uso gera grande quantidade de cinzas as quais, em sua maioria, não possui destinação específica (SILVA, 2019). Segundo Borlini *et al.* (2005), essas cinzas possuem uma geração em aproximadamente 300 t por mês. Essa biomassa, em geral, possui minerais oxidados, sílica e carbono orgânico, as quais podem fazer com que o material apresente características pozolânicas (FOELKEL, 2011).

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo realizar o uso das cinzas de caldeira de olaria (RCCO) como substituto parcial ao cimento Portland, avaliando seu comportamento no estado endurecido e propondo não só contribuir para a descoberta de novos materiais que podem ser incorporados em materiais cimentícios, como também colaborar com a busca pelo mundo mais sustentável. Ademais, o estudo também aspira avaliar o uso de técnicas experimentais com amostras em miniatura, o qual é proposto por Beaudoin (2001) e já utilizado em estudos para avaliação da produção de cimentos em nível laboratorial por diversos pesquisadores (COSTA *et al.*, 2016; MARIANI *et al.*, 2019; COSTA E RIBEIRO, 2020), propondo verificar se o uso de amostras em tamanho reduzido afeta a avaliação de desempenho dos materiais produzidos.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Metodologia

Para a realização do estudo, foi realizada a coleta de amostras do RCCO numa fábrica de blocos cerâmicos localizado no Recôncavo da Bahia e, posteriormente, o material foi levado à secagem em estufa em temperatura de $100 \pm 5^\circ\text{C}$ por um período de 24h. Após o resfriamento, as cinzas foram peneiradas até se obter o material passante na peneira de abertura de 300 μm (Figura 1). Como foi observada a existência de matéria orgânica no RCCO, optou-se por realizar o tratamento térmico do material por meio da mufla – marca Zezimaq, modelo 2000-G, potência de 6400W e provida de programador de temperatura da DigiMec, modelo FHMP. O ensaio foi realizado seguindo a NBR 17086-6:2023 a qual define um tempo de queima de 60 minutos com temperatura mantida em 1000°C . As cinzas resultantes obtiveram uma média de perda de massa de aproximadamente 25,95%. Posterior ao resfriamento, foi realizado um novo peneiramento até se obter o material passante na peneira de abertura de 75 μm (nº 200). A escolha do uso de RCCO passante na peneira nº 200 deve-se à maior probabilidade de que sua finura favoreça a ocorrência do efeito filler na mistura e, conseqüentemente, obtenção de uma menor porosidade no corpo de prova no estado endurecido.

Figura 1 – Material retido nas peneiras granulométricas conforme NM-ISO3310-1.



Fonte: Autoras (2023).

Além do RCCO tratado, também foram utilizados os seguintes materiais para a realização das misturas:

- Cimento Portland CPV-ARI: a escolha foi atribuída ao seu baixo teor de adição, a fim de mitigar possíveis reações do resíduo com outros elementos;
- Água destilada: obtida pelo destilado da marca Marte.

No que tange às fôrmas para a análise de técnicas em miniatura, utilizou-se a metodologia adotada por Costa (2023), na qual foram confeccionadas fôrmas cilíndricas com tubo de PVC DN 20 mm da marca Fortlev, sendo realizado o acabamento com lixas de grão 100, 150 e 400 respectivamente. Suas dimensões seguiram o padrão exigido na NBR 5738:2015, a qual sugere que a altura seja duas vezes o diâmetro, sendo essas medidas asseguradas com o auxílio de um paquímetro de resolução 0,01 mm. Para mais, para facilitar a desmoldagem, foi feita uma abertura lateral de fora a fora do corpo de prova (CP). Para o fundo e tampa do corpo de prova foi utilizado pastilhas de vidro, sendo que o fundo foi colado com cola instantânea da marca Almasuper e a tampa apoiada sob o CP após moldagem. Por fim, foi utilizada a fita Hellerman como dispositivo de travamento dos CPs, evitando assim que ocorra vazamento lateral do material durante a moldagem. A Figura 2 ilustra a fôrma pronta após a confecção. Como forma comparativa, foi utilizada a fôrma de referência da NBR 7215:2019 as quais possuem dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Para todas as fôrmas utilizadas, utilizou-se desmoldante (óleo mineral) por todo o CP antes do processo de moldagem.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Figura 2 – Fôrma cilíndrica em miniatura.

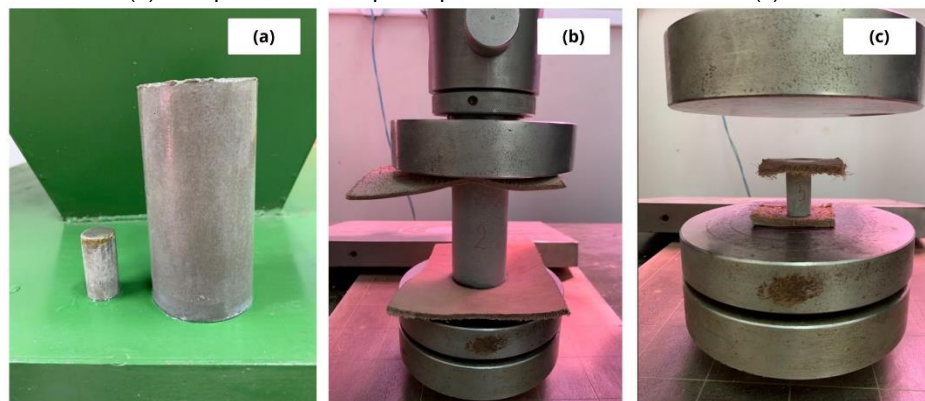


Fonte: Autoras (2023).

De posse de todo o material necessário, iniciou-se a dosagem do RCCO, sendo definidos os seguintes teores de substituição ao cimento Portland: 0% (referência), 5% e 10% (ARIF *et al.*, 2021), sendo a relação água/(cimento+RCCO) de 0,47 (COSTA, 2020). O processo de mistura dos materiais foi realizado por meio de um recipiente de material não absorvente e um misturador de argamassa. A massa foi adquirida seguindo as recomendações de preparo da NBR 7215:2019, sendo realizada a moldagem do cilindro de referência e em miniatura de forma simultânea. Foram separados 3 corpos de prova para as idades de 24h, 3 e 7 dias, não sendo possível moldar mais CPs devido a pouca quantidade de RCCO disponível.

A desmoldagem aconteceu após 24h do início da mistura e as amostras submetidas à idade de 24h foram ensaiadas à compressão na máquina de ensaio universal da Time Group Inc., modelo WDW-200E, com 200 kN de capacidade; já os CPs destinados a ensaios futuros, foram imersos em água saturada com cal até o dia almejado. Devido ao desprovimento de equipamentos em laboratório para capear os corpos de prova, os mesmos foram submetidos ao lixamento em seu topo e base. A Figura 3a mostra o comparativo dos dois tipos de corpo de prova, após a desmoldagem.

Figura 3 – Comparativo entre os corpos de prova (a) Rompimento de corpo de prova cilíndrico de referência (b) Rompimento do corpo de prova cilíndrico em miniatura (c).



Fonte: Autoras (2023).

Para o ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova em miniatura, foi criada uma rotina de ensaio no *software* acoplado à máquina universal, onde foi inserida uma taxa de carregamento de 0,2 MPa/s, seguindo os estudos de Mariani (2018), Costa (2020) e Costa (2023). Para acarretar uma melhor distribuição dos esforços e mitigar as imperfeições da região de contato dos corpos de prova, foi colocada uma camada de couro, com 4,5 mm de espessura, na parte superior e outra na parte inferior do CP no momento em que foi colocado na máquina (VIEIRA, 2022), sendo o mesmo também utilizado para os CPs em miniatura. As Figuras 3b e 3c ilustram a metodologia abordada.

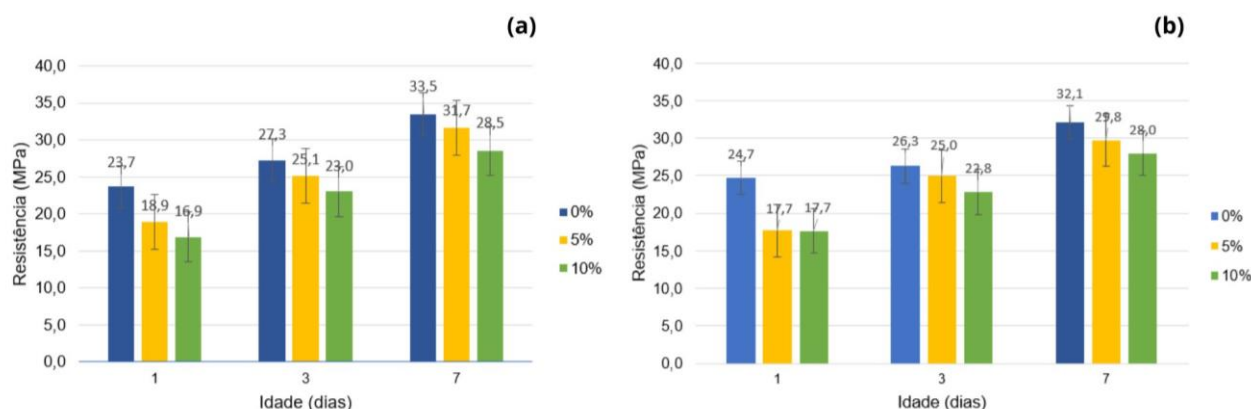
A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Após a preparação dissertada, realizou-se os ensaios de ruptura dos CPs e foi feita a análise dos resultados considerando o desvio relativo máximo (DRM) de 6%, conforme estabelece a NBR 7215:2019.

Resultados

Os resultados obtidos na resistência à compressão axial são expostos na Figura 4 contendo valores correspondentes ao CP cilíndrico de referência (Figura 4a) e cilíndrico em miniatura (Figura 4b).

Figura 4 – Resultado de Resistência à Compressão em corpos de prova (a) cilíndrico 50x100 mm; (b) cilíndrico em miniatura 17x34 mm.



Fonte: Autores (2023).

Discussão

A partir dos resultados, pode-se observar que tanto para o teor de 5% quanto para o teor de 10% alcançou-se resultados de resistência mecânica abaixo do valor de referência (teor de 0%), porém há uma queda no desvio relativo ao logo das idades. Ao avaliar os resultados dos corpos de prova cilíndricos 50x100 mm, nota-se que ao comparar o teor de 5%, na idade de 24h, ao teor de referência na mesma idade, há uma variação de 20,25%, já para a idade de 7 dias esse percentual cai para 5,37%, sendo um valor abaixo do valor limite de DRM aceitável pela NBR 7215:2019. Para o teor de 10%, também se percebe essa variação nas primeiras idades e um considerável declínio aos 7 dias: 28,69% nas primeiras 24h e 14,93% em 7 dias. O mesmo comportamento também é observado nos corpos de prova em miniatura, onde os teores de 5% e 10% apresentam na idade de 24h a mesma variação de 28,34% em relação ao teor de 0% na mesma idade. Já para o período de 7 dias, os teores de 5% e 10%, apresentam desvio de 7,16% e de 12,77% nos teores de 5 e 10% respectivamente.

Souza, Silva e Lobo (2019) realizaram a análise das propriedades de argamassas com substituição parcial de cimento por cinzas da madeira de eucalipto nas idades de 28 e 60 dias, utilizando teores variáveis entre 2,5% e 25%. Os autores observaram resultados satisfatórios nos percentuais de 5%, 7,5% e 10%, alcançando valores até superiores ao teor de referência (0%). Dessa forma, verifica-se para que para o presente estudo há a necessidade da realização de ensaios com idades mais avançadas para uma melhor avaliação de resultados.

Ademais, é perceptível que há um declínio da resistência à compressão a medida em que se aumenta o teor de RCCO. Resultados semelhantes também são verificados no estudo de Gluitz e Marafão (2013), cujos ensaios foram realizados em argamassas com substituições parciais do cimento de 5, 10, 15 e 20% de cinzas de madeira de eucalipto. Os autores concluíram que todos os percentuais se afastam do valor de referência, obtendo os piores valores para os teores de 15% e 20%. Além disso, nesta pesquisa foram realizados ensaios por meio da técnica de Difractometria de Raios X (DRX) para as amostras de cinzas e foi verificado que o mesmo não apresenta fase amorfa, o que justifica a queda de resistência constatada a partir do aumento da adição de cinzas.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Para mais, ao ser realizado o comparativo entre os formatos, observa-se similaridade e uniformidade dos corpos de prova em miniatura ao se comparar com os corpos de prova cilíndrico padronizado (50x100 mm). Esse comportamento se replica para todos os teores estudados, comprovando que seu uso não afeta a avaliação de desempenho.

Conclusão

A partir dos resultados e discussões apresentados, pode-se concluir que:

- O desempenho mecânico dos materiais produzidos utilizando os corpos de prova com substituição de 5% do cimento pelo RCCO não afetou significativamente a resistência à compressão na idade de 7 dias, logo é um teor que permite seu emprego;
- É necessária a verificação dos teores aplicados em idades mais avançadas, como 28 e 63 dias, para a comprovação da queda do desvio relativo médio dos resultados ao longo do tempo quando comparado ao teor de referência;
- Embora haja queda de resistência à medida em que se aumenta o teor de RCCO, acredita-se que ajustes na relação água/materiais secos pode mitigar esse declínio;
- A utilização de amostras em miniatura não afetou a avaliação de desempenho dos corpos de prova, logo considera-se uma alternativa viável para pesquisas, visto que seu uso trouxe vários benefícios como: economia de material, de espaço e tempo, além da menor geração de resíduos no laboratório.

Referências

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 30 jul. 2023.

ARIF, S.; ROKIAH, O; MUTHUSAMY, K. **Compressive Strength of Concrete containing Eggshell Powder as Partial Cement Replacement**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Kuantan, Pahang, Malásia, 2021. 1-15.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Análise química Parte 6: Determinação da perda ao fogo**. NBR 17086-6: Rio de Janeiro, 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. NBR 7215: Rio de Janeiro, 2019.

BEAUDOIN, J. J. **Miniaturized Techniques. Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology Principles, Techniques and Applications** - V.S. Ramachandran & James J. Beaudoin Noyes Publications, 2001.

BORLINI, M. C.; SALES, H. F.; VIEIRA, C. M. F.; CONTE, R. A.; PINATTI, D. G.; MONTEIRO, S. N. **Cinzas da lenha para aplicação em cerâmica vermelha Parte I: características da cinza**. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Goytacazes- RJ; Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Lorena – SP, 2005.

COSTA, E. B. **Aproveitamento de cinza pesada e anodização do alumínio para a produção do cimento sulfoaluminato de cálcio belítico**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2016.

COSTA, F. N. **Valorização do resíduo de construção civil por meio de sua incorporação ao processo de clinquerização**. 2020. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2020.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

COSTA, F.N.; RIBEIRO, D.V. **Reduction in CO₂ emissions during production of cement, with partial replacement of traditional raw materials with civil construction waste (CCW)**. Journal Cleaner Production, 276 (2020) 11, paper 123302.

COSTA, R. B. **Análise da influência da adição da casca de ovo de galinha sobre as propriedades do estado fresco e endurecido da pasta de cimento Portland**. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Monografia). Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2023.

FOELKEL, C. **Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto: Resíduos Minerais**. Eucalyptus Online Book. São Paulo, v. 25, n. 5, out. 2011. Disponível em: https://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_ResiduosMinerais.pdf. Acesso em: 20 de jul. 2023.

GLUITZ, A. C.; MARAFÃO, D.; **Utilização da cinza da madeira de eucalipto na substituição parcial do cimento Portland em argamassa**. 2013. Trabalho de conclusão de curso (Monografia). Curso de Química Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

MARIANI, B. B. **Produção de clínquer Portland com baixa emissão de CO₂ a partir da incorporação de minério não reagido (MNR) proveniente da produção de TiO₂**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Salvador, 2018.

MARIANI, B. B., ANDRADE NETO, J. S., AMORIM JÚNIOR, N. S., RIBEIRO, D. V., 2019. **Efeito da incorporação de resíduo de TiO₂ (MNR) na formação das fases mineralógicas de clínquer Portland**. Ambiente Construído, Porto Alegre, 19, n. 1, 57-71, 2019.

NORMA MERCOSUR. **Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação Parte 1 – Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico**. NM ISSO 3310-1, 2010.

SILVA, L. H. P.; TAMASHIRO, J. R.; ANTUNES, P. A.; PEREIRA, D. R. **Caracterização da cinza de forno de olaria para aplicação em cimento pozolânico**. Universidade do Oeste Paulista, São Paulo, 2019.

SOUZA, M. S.; SILVA, S. R.; LOBO, F. A. **Análise das propriedades mecânicas de argamassas com substituição parcial de cimento Portland por cinza de madeira de eucalipto**. 2019. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade do Rio Verde, Rio Verde, 2019.

VIEIRA, L. B. **Avaliação do uso de resíduo de mármore bege Bahia como substituto do calcário na produção de clínquer e como material carbonático para cimento Portland**. 2022. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2022.

Agradecimentos

À UFRB e à FAPESB, pela bolsa de iniciação científica e o apoio à pesquisa. À empresa Massa Fort Concreto pela doação de materiais utilizados na pesquisa.