

AValiação das Propriedades do Concreto Celular Espumoso Produzido com Substituição Parcial do Cimento por Cinzas de Casca de Arroz

EVALUATION OF THE PROPERTIES OF FOAMED CELLULAR CONCRETE PRODUCED WITH PARCIAL REPLACEMENT OF CEMENT BY RICE HUSK ASH

Júlia Costa Abdala¹

André Barroso Mourão²

Júnia Nunes de Paula³

Lucas Thadeu da Silva Ramos⁴

Ivan Batista Morais⁵

Resumo: O cimento Portland é, em massa, o produto manufaturado mais consumido no planeta e sua indústria é responsável por aproximadamente 7% do volume das emissões mundiais de CO₂ correspondentes à ação humana. A fabricação do principal componente do cimento, o clínquer, exige grande consumo de energia e queima de combustível, o que gera alta emissão de poluentes. O uso de materiais cimentícios suplementares (MCS) como substituição parcial ao cimento é uma alternativa eficaz para a redução do consumo do cimento. Cinzas residuais da atividade agrícola são boas alternativas de MCS e, dentre elas, há a cinza de casca de arroz (CCA). Logo, a presente pesquisa estudou os efeitos da introdução da CCA sobre as propriedades do concreto celular espumoso. Usou-se três dosagens de concreto: REF, CCA-10 e CCA-20, com 0%, 10% e 20% de substituição do cimento pela CCA, respectivamente, em massa. O desempenho mecânico após 7 dias de cura indica que os concretos com CCA podem ser usados para fins não estruturais, ao tempo que o desempenho após 21 dias indica que o traço CCA-10 enquadra-se como concreto leve estrutural. A adição da CCA reduziu o índice de absorção de água do concreto.

Palavras-chaves: Concreto celular espumoso; concreto leve; cinza de casca de arroz; sustentabilidade; cimento Portland.

Abstract: Portland cement is, by mass, the most consumed manufactured product on the planet and its industry is responsible for approximately 7% of the world's anthropogenic CO₂ emissions. The manufacture of cement's main component, clinker, requires a great deal of energy consumption and fuel burning, which generates high pollutant emissions. The use of supplementary cementitious materials (SCM) as a partial substitute for cement is an effective alternative for reducing cement consumption. Residual ash from agricultural activities is a good alternative for SCMs, including rice husk ash (RHA). This research therefore studied the effects of introducing RHA on the properties of foam cellular concrete. Three concrete dosages were used: REF, RHA-10 and RHA-20, with 0%, 10% and 20% cement replacement by RHA, respectively, by mass. The mechanical performance after 7 days of curing indicates that concrete with RHA can be used for non-structural purposes, while the performance after 21 days indicates that the RHA-10 mix is suitable for use as lightweight structural concrete. The addition of ash reduced the concrete's water absorption rate.

Keywords: Foamed cellular concrete; lightweight concrete; rice husk ash; Portland cement.

^{1,2,3,4,5} Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Campus Nova Suíça – Belo Horizonte, Brasil, email : jubdala31@gmail.com; andrebmourao@cefetmg.br; juniapaula@cefetmg.br; lucas.ramos@cefetmg.br; ivan@cefetmg.br;

1 Introdução

A produção do cimento Portland responde por cerca de 7% das emissões mundiais de CO₂, inerentes às ações humanas (SNIC, 2019) e sua produção anual é estimada em 4,1 bilhões de toneladas, sendo que 65 milhões de toneladas é emitido no Brasil (IPCC, 2022; USGS, 2023). Em 2021, cada tonelada de cimento produzida no planeta resultou na emissão de 633 kg de gás carbônico na atmosfera (SNIC, 2022).

O clínquer é o principal componente do cimento Portland. A fabricação do clínquer envolve a calcinação da farinha de cimento crua (900oC) e sua sinterização (1350-1500oC), procedimentos que envolvem grande consumo de energia e queima de combustível, o que resulta na emissão de vários gases poluentes (Moumin et al., 2020; Sprung, 2008). Assim, cerca de 90% do CO₂ emitido durante a cadeia produtiva do cimento corresponde à produção de clínquer (Berenguer et al., 2020).

A minimização das emissões de carbono da cadeia produtiva do cimento passa por duas estratégias principais: maior uso de materiais cimentícios suplementares (MCS) com baixo CO₂ associado em substituição parcial ao clínquer e o uso mais eficiente do cimento Portland em argamassas e concretos (Scrivener et al., 2018). Quando adicionados ao cimento Portland, os MCS melhoram as propriedades de argamassas e concretos como aumento da resistência mecânica (Li et al., 2023; Matos Neto et al., 2015), redução do calor de hidratação e da carbonatação (Duarte et al., 2022; Martins et al., 2021), bem como aumento da resistência química e durabilidade (Pires et al., 2022).

A cinza de casca de arroz (CCA) representa uma alternativa de MCS e já é comercializada para este fim. As cascas de arroz são sobras do beneficiamento dos grãos, sendo aproveitadas como combustível para a geração de energia em usinas termoeletricas. As cinzas resultantes desse processo de queima controlada geralmente são ricas em sílica amorfa, o que permite o seu uso como adição mineral na confecção do concreto (Fernandes et al., 2016).

Como já mencionado anteriormente, o cimento é um dos materiais manufaturados mais consumidos no planeta e, dentre suas principais utilizações, está a produção de argamassas e concretos (UN-DESA, 2019), sendo o concreto um dos materiais mais consumidos no mundo (Uratani, 2023).

Dentre os diversos tipos de concreto, tem-se o concreto leve que se distingue do convencional principalmente por apresentar menor massa específica e alterações nas propriedades térmicas e acústicas (Melo, 2009). A redução da massa específica do concreto

leve é resultado da substituição parcial dos materiais sólidos por ar (Rossignolo, 2009) e apresenta uma massa específica entre 300 kg/m³ e 2000 kg/m³ (Maycá, Cremonini e Recena, 2008). O concreto celular ou aerado, uma subdivisão do concreto leve, é fabricado a partir da adição de gás ou de espuma na pasta de cimento, que reagem produzindo gases e bolhas (Maycá, Cremonini e Recena, 2008).

Segundo Melo (2009), o concreto celular espumoso, objeto de estudo da presente pesquisa, pode ser produzido com uso de agente espumante, que por sua vez incorporam bolhas de ar de duas formas distintas:

- Espuma pré-formada: cujas características são controladas, produzida em equipamento específico para posteriormente ser incorporada no preparo da argamassa.
- Espuma produzida por ação mecânica, na qual o agente espumante é previamente diluído em água e misturado com as matérias-primas dentro do misturador, onde a espuma será gerada por meio da velocidade do equipamento durante a operação.

Diante do exposto, o presente trabalho visou estudar os efeitos da introdução de cinzas de casca de arroz (CCA), como substituição parcial ao cimento Portland, sobre as propriedades do concreto celular espumoso.

2 Desenvolvimento

2.1 Materiais

Para a produção do concreto celular espumoso, os seguintes materiais foram utilizados: Cimento Portland CP V ARI; Cinzas de casca de arroz (CCA); Agregado miúdo, doado pela empresa Super Mix; Aditivo espumígeno, também denominado incorporador de ar; Aditivo hiperplastificante MAXIFLUID ® 960H, classificado como aditivo redutor de água tipo 2, de pega normal e à base de policarboxilatos e; água fornecida pela COPASA, companhia de abastecimento de Belo Horizonte-MG.

2.2 Métodos de Procedimentos

Os procedimentos dividiram-se nas seguintes etapas: caracterização dos materiais (cimento, CCA e agregado); produção dos concretos celulares espumosos; ensaios desempenho mecânico dos concretos; ensaios de absorção à água dos concretos.

2.2.1. Caracterização dos materiais:

A massa específica do cimento foi fornecida pela fabricante e seu valor corresponde a 3,258 g/cm³. A massa específica da CCA foi obtida por meio do ensaio de picnometria e correspondeu a um valor de 2,142 g/cm³.

A caracterização do agregado se deu por meio da elaboração da curva de sua distribuição granulométrica e da determinação da massa unitária, conforme NBR 17054 (ABNT, 2022).

2.2.2. Produção do concreto celular espumoso:

Foram produzidas três dosagens de concreto: Referência (REF), com 100% de cimento; CCA-10 e CCA-20, com 10% e 20% de substituição, em massa, do cimento pela CCA, respectivamente. A Tabela 1 exibe os materiais usados em cada dosagem:

Tabela 1–Dosagem dos concretos

Dosagem	Cimento (kg)	CCA (kg)	Areia (kg)	Água (kg)	Superplastificante (kg)	Espuma (L)
REF	7.30	0	20.10	4.00	0.1095	9.0
CCA-10	6.57	0.73	20.10	4.00	0.1095	9.0
CCA-20	5.84	1.46	20.10	4.00	0.1095	9.0

Fonte: Autoria própria (2024)

O concreto celular espumoso foi produzido nos laboratórios do Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG, campus Nova Gameleira, seguindo-se os requisitos da NBR 12655 (ABNT, 2022). A produção da espuma e do concreto foi realizado por meio de mistura mecânica, fazendo-se uso dos equipamentos da Fig. 1.



Figura 1. Equipamentos para mistura da espuma e do concreto.

A confecção do concreto foi executada nas seguintes etapas: a) Primeiramente, os aglomerantes (cimento e CCA) e a areia foram homogeneizados a seco; b) Em seguida, cerca de 75% da água foi adicionada aos materiais secos e realizou-se a mistura mecânica. c) A argamassa foi misturada mecanicamente por dois minutos. d) posteriormente, adicionou-se o

restante da água contendo o aditivo hiperplastificante seguido de mais um minuto de mistura ou até se alcançar uma argamassa homogênea (Fig. 2). e) Simultaneamente à mistura da argamassa foi realizada a produção da espuma, seguindo-se a recomendação do fabricante de se diluir o aditivo espumígeno na água na proporção volumétrica de 1:20 (Fig. 2). A massa ocupada por um litro da espuma foi aferida para se calcular sua respectiva massa específica;



Figura 2. Mistura mecânica da espuma e da argamassa.

f) A espuma formada foi então adicionada à argamassa e, em seguida, ambas foram misturadas juntamente por mais dois minutos, formando assim, o concreto celular espumoso; g) O concreto foi inserido em moldes cilíndricos (10 cm de diâmetro por 20 cm de altura) de aço previamente lubrificados com óleo vegetal (Fig. 3). Para cada dosagem, foram produzidos 12 corpos de prova de concreto. h) As amostras de concreto foram submetidas à cura submersa nos primeiros sete dias e, depois inseridas em cura úmida, conforme NBR 5738 (ABNT, 2015).



Figura 3. Moldes preenchidos com concreto.

2.2.3. Ensaio de desempenho do concreto:

As amostras de concreto foram submetidas aos ensaios de compressão após 7 e 21 dias de cura. A Fig. 4 exibe o ensaio mecânico de compressão:



Figura 4. Ensaio de resistência à compressão do concreto.

2.2.4. Ensaio de absorção à água do concreto:

Os ensaios de absorção de água por imersão se deram em conformidade com os procedimentos dispostos na NBR 9778 (ABNT, 2005) para os concretos com 21 dias de idade. A Fig. 5 demonstra o ensaio de absorção.



Figura 5. Ensaio de absorção por imersão do concreto.

3 Resultados e discussões

3.1 Caracterizações:

A CCA apresentou massa específica de $2,142 \text{ g/cm}^3$ e o cimento obteve valor de $3,258 \text{ g/cm}^3$. A Fig. 6 apresenta a distribuição granulométrica do agregado miúdo:

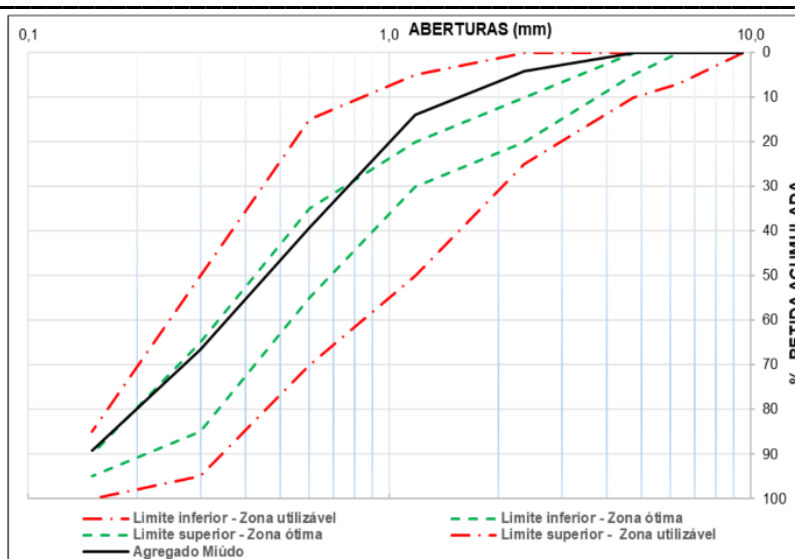


Figura 6. Distribuição granulométrica do agregado miúdo.

A curva granulométrica do agregado evidencia que o mesmo se encontra dentro da zona utilizável estabelecida por Norma. Obteve-se um valor de módulo de finura de 2,87.

3.2 Desempenho Mecânico:

A Tabela 2 exibe os resultados de densidade de espuma e desempenho mecânico dos concretos:

Tabela 2–Resistência à compressão dos concretos

Dosagem	Densidade da espuma (g/ml)	Resistência média à compressão (MPa)			
		7 dias	Desv. Padrão	21 dias	Desv. Padrão
REF	0,0874	5,10	0,561	7,12	0,057
CCA-10	0,0718	4,12	0,342	5,37	0,353
CCA-20	0,0809	2,65	0,223	3,84	0,602

O desempenho mecânico registrado pelos concretos aos 7 dias evidencia que o traço referência enquadra-se como concreto leve estrutural, ao tempo que as amostras CCA-10 e CCA-20 podem ser utilizadas para fins não estruturais, conforme normatização brasileira. Os concretos CCA-10 e CCA-20 registraram, respectivamente, decréscimos de 19,21% e de 48,03% em relação ao concreto REF.

Os resultados de compressão após 21 dias de cura indicam que a amostra CCA-10 pode ser usada como concreto leve estrutural (acima de 5 MPa). Entretanto, nota-se que os concretos CCA-10 e CCA-20 registraram, respectivamente, decréscimos de 24,57% e de 46,06% em relação ao REF. Para idades de cura superiores, há a expectativa de que as amostras com cinzas apresentem valores mais próximos ao REF, pois, segundo Gomes

(2019), as amostras com adição de CCA adquirem melhor resistência a partir de 28 dias, tendo em vista que as reações de ganho de resistência dos concretos com cinzas são mais lentas.

3.3 Índice de Absorção:

Os resultados de índice de absorção por imersão após 21 dias de cura foram, respectivamente, 16,85%, 14,27% e 15,88% para REF, CCA-10 e CCA-20. Logo, de maneira geral, a adição das cinzas reduziu a permeabilidade aberta à água do concreto, sendo que a menor permeabilidade foi registrada pela dosagem com 10% de CCA.

4 Conclusões

Os concretos CCA-10 e CCA-20 aos 7 dias de cura podem ser utilizados para fins não estruturais. Após 21 de cura, a amostra CCA-10 apresentou desempenho suficiente para uso como concreto leve estrutural. Para estudos futuros, sugere-se avaliar o desempenho de concretos leves com CCA após longas idades de curas, uma vez que as amostras com essas cinzas apresentarão melhor resistência mecânica após longo prazo devido ao fato de suas reações ocorrerem mais lentamente.

A introdução das cinzas no concreto celular espumoso reduziu a permeabilidade aberta à água deste material, sendo que a dosagem com 10% de CCA registrou o menor valor de absorção de água. Logo, este percentual de substituição pode ser o mais indicado para estruturas leves onde a permeabilidade não seja desejada.

O uso de cinzas resíduais da atividade agrícola na construção civil representa uma grande contribuição do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, pois possibilita o reaproveitamento de um resíduo, como também a redução do consumo de clínquer e minimização dos impactos e emissões de sua cadeia produtiva.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) - Código de Financiamento 001.

Referências

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos: Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2022.

BERENGUER, R. A.; CAPRARO, A. P. B.; MEDEIROS, M. H. F.; CARNEIRO, A. M. P. Sugar cane bagasse ash as a partial substitute of Portland cement: Effect on mechanical properties and emission of carbon dioxide. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n.2, 2020.

DE MAGALHÃES, L. F. et al. Iron Ore Tailing as Addition to Partial Replacement of Portland Cement. **Materials Science Forum**, v. 930, p. 125-130, 2018.

DE SOUZA MORAIS, I. et al. Sericitic Phyllite as Addition in Portland Cement. **Materials Science Forum**, v. 930, p. 131–136, 2018.

DUARTE, M. S. et al. Influence of mechanical treatment and magnetic separation on the performance of iron ore tailings as supplementary cementitious material. **Journal of Building Engineering**, v. 59, 2022.

FERNANDES, I. J.; CALHEIRO, D.; KIELING, A. G.; MORAES, C. A. M.; ROCHA, T. L. A.; BREHM, F. A.; MODOLO, R. C. E. Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. **Fuel**, v. 165, p. 351-359, 2016.

GOMES, C. L. **Avaliação mecânica e de durabilidade de concretos fabricados com resíduos de construção e demolição e cinza de casca de arroz**. 2019. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

IPCC. Synthesis report of the IPCC sixth assessment report. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf

KIM, J. et al. Utilization of Different Forms of Demolished Clay Brick and Granite Wastes for Better Performance in Cement Composites. **Buildings**, v. 13, n. 1, p. 165, 2023.

LI, J et al. Mechanical Properties and Microstructure Analysis of Cement Mortar Mixed with Iron Ore Tailings. **Buildings**, v. 13, n. 1, p. 149, 2023.

MARTINS, M. L. F. et al. Magnesium industry waste and red mud to eco-friendly ternary binder: Producing more sustainable cementitious materials. **Construction and Building Materials**, v. 310, 2021.

MAYCÁ, J.; CREMONINI, R. A.; RECENA, F. A. **Contribuição ao estudo da argila expandida nacional como alternativa de agregado graúdo para concretos leves estruturais (CLE)**. 2008. Monografia de especialização. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS.

MATOS NETO, J. A. et al. Sterile Clay Pozzolans from Phosphate Mining. **Materials Research**, v. 18, p. 230–234, 2015.

MELO, Guilherme Fabio de. **Concreto celular polimérico: Influência da adição de resíduo poliéster insaturado termofixo**. 2009. Tese de Doutorado, Programa de Pós-

Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal-RN.

MOUMIN, G. et al. CO₂ emission reduction in the cement industry by using a solar calciner. **Renewable Energy**, v. 145, p. 1578–1596, 2020.

PIRES, M. et al. Phosphate rock waste in the production of cement tile. **Results in Engineering**, v. 16, 2022.

ROSSIGNOLO, J. A. Concreto leve estrutural: produção, propriedades, microestrutura e aplicações. São Paulo: **Pini**. 2009.

SCRIVENER, K. L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 2–26, 2018.

SNIC. Sindicato Nacional de Cimento Portland. **Relatório Anual**, 2019.

SNIC. Sindicato Nacional de Cimento Portland. **Relatório Anual**, 2021.

UN-DESA. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420) Demographic Research. New York: [s.n.].

URATANI, J. M.; GRIFFITHS, S. A forward looking perspective on the cement and concrete industry: Implications of growth and development in the Global South. **Energy Research and Social Science**, v. 97, 2023.

USGS. **Mineral Commodity Summaries 2023**. St. Louis: [s.n.]. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf>