

CAPÍTULO 37

CINZAS DE BIOMASSA GERADAS NA AGROINDÚSTRIA DE MALTE: CARACTERIZAÇÃO E USO EM SUBSTITUIÇÃO AO AGREGADO MIÚDO EM ARGAMASSAS

https://doi.org/10.22533/at.ed.81921081137

DA SILVA; SAUANA CENTENARO[1]; DA SILVA; JOAÕ ADRIANO GODOY[2]; PAULINO; RAFAELLA SALVADOR[3]
[123]FACULDADE GUARAPUAVA
RAFAELLASPAULINO@GMAIL.COM

RESUMO: Este estudo analisou a viabilidade do uso de cinzas de caldeira (CC) para a produção de argamassas. As CC foram caracterizadas física e quimicamente. Produziram-se argamassas de traço 1:3, em massa, com teores de substituição de 0, 5, 10, 15 e 20% e relação a/c de 0,7. O aumento do teor de substituição provocou redução da trabalhabilidade e da densidade de massa e aumento do teor de ar incorporado, da absorção de água e da porosidade, para todas argamassas. Verificou-se manutenção da resistência à compressão nos teores de 10 e 15% e aumento para o teor de 20%, em comparação à referência.

PALAVRAS-CHAVES: ENARC2021, cinzas de caldeira, eucalipto, grãos, substiuição.

ABSTRACT: This study analyzed the feasibility of using boiler ash (CC) for the production of mortars. CC were characterized physically and chemically. Mortars with a mix of 1:3 by mass were produced, with replacement contents of 0, 5, 10, 15 and 20% and w/c ratio of 0.7. The increase in the replacement content caused a reduction in workability and mass density and an increase in the incorporated air content, water absorption and porosity for all mortars. There was maintenance of compressive strength at 10 and 15% grades and an increase at 20% grade, compared to the reference.

KEYWORDS: ENARC2021, boiler ash, eucalyptus, grains, replacement.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores responsáveis pelos grandes impactos negativos causados à natureza, devido ao grande consumo de matérias-primas, energia e água, além da excessiva geração de resíduos. Dessa forma, os materiais de construção vêm sendo avaliados não apenas pelas suas propriedades e desempenho, mas também quanto à sustentabilidade, pela maneira como são produzidos e pelo impacto que o seu processamento gera ao meio ambiente (FREITAS, 2005[(1)]; CANOVA; MIOTTO; DE MORI, 2015[(2)]).

Dentre os materiais da construção civil, tem-se a areia, muita utilizada para a produção de argamassas e concreto, que pode ter sua origem em rios, em depósitos sedimentares, de cavas, de praias e dunas e a partir da britagem (BAUER, 2012[(3)]). A extração de areia em rios tem degradado o ambiente aquático e em muitas vezes os impactos dessa extração são irreversíveis (FARIAS et al., 2012[(4)]). Devido a isso, inúmeras

pesquisas têm sido realizadas sobre a viabilidade da substituição do agregado miúdo por resíduos das mais variadas origens, como as cinzas geradas pela queima de outros resíduos, oriundos de indústrias como a de papel e celulose, olarias, termoelétricas e caldeiras de secagem de grãos da agricultura (MANNAN; GANAPATHY, 2004[5]).

Aliado a isto, a geração de energia da biomassa é responsável por uma grande produção de cinzas, cuja maior parte é enviada para aterros (FARINHA; BRITO; VEIGA, 2019[6]). Com a necessidade de retirada a baixo custo, esse resíduo acaba sendo destinado incorretamente, depositado em áreas impróprias e sem o devido tratamento. A disposição de cinzas sem o correto tratamento gera a lixiviação o que possibilita que metais pesados e sulfatos penetrem no lençol freático contaminado a água (MAEDA *et al.*, 2008[7]; CACURO; WALDMAN, 2015[8]).

Teixeira *et al*. (2019)[9] estudou o efeito da utilização de cinza volante de biomassa (CVB) na produção de argamassas e verificou que o uso da CVB em pequenas quantidades misturadas com cinzas volantes de carvão resultou em argamassas com resistência à compressão semelhantes à de uma argamassa de cimento. Tosti *et al.* (2019)[10] avaliou as propriedades mecânicas e ambientais de argamassas de cimento contendo cinzas volantes da combustão de biomassa como material cimentício secundário e concluiu que o desempenho técnico das argamassas de cimento foi influenciado pelo tipo e proporção de cinza volante misturada com cimento. Novais *et al.* (2019)[11] estudou o uso de resíduos provenientes da produção de celulose e papel como preenchimento fino na produção de argamassas geopoliméricas e confirmou a viabilidade do seu uso.

Dessa forma, por existir muitas indústrias que utilizam as caldeiras no processo de produção na região de Guarapuava -PR, sendo a maltaria da Agrária, a maior da América Latina, as cinzas oriundas da queima de madeira de eucalipto e de cascas de grãos nas caldeiras são matéria deste estudo, que tem como objetivo a caracterização destas cinzas de biomassa com vistas a seu uso em substituição ao agregado miúdo na produção de argamassas.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Na produção das argamassas foi utilizado o cimento Portland CP V- ARI, pelo fato de ser um cimento sem adições, a fim de qualificar melhor a reatividade das cinzas. O agregado miúdo utilizado foi a areia quartzosa de rio, cuja massa específica é de 2,62 g/cm³, obtida segundo a ABTN NBR NM 52:2009[12] e módulo de finura de 1,53, determinado conforme a ABNT NBR NM 248:2003[13], classificando-se como areia fina. A cinza de caldeira (CC) utilizada foi fornecida pela Maltaria da Agraria e é oriunda da queima de eucalipto e também resíduos da agroindústria, como grãos e cascas, caracterizando a CC como um resíduo misto.

2.2 Métodos

2.2.1 Preparação e caracterização da CC

A cinza de caldeira (CC) (Figura 1) foi submetida a um processo de moagem,

utilizando-se um moinho de martelo para moer os grãos maiores, que em seguida, passaram por um moedor de café e por um processo manual, com o auxílio de um socador almofariz de porcelana. Posteriormente, as CC foram caracterizadas fisicamente da mesma forma que a areia.



Figura 1 – Cinza após moída e peneirada.

Com relação à caracterização química, as CC foram avaliadas quanto ao índice de atividade pozolânica, segundo a ABNT NBR 5751:2015[14], conforme a exigências da ABNT NBR 12653:2015[15], quanto à sua composição química, a partir de uma microscopia eletrônica de varredura (MEV) e para determinação do teor de matéria orgânica residual, por meio do ensaio de perda ao fogo.

2.2.2 Produção e caracterização das argamassas

Foram produzidas argamassas de traço básico de 1:3, em massa, e relação água/cimento de em 0,70, com substituição da areia pela CC, em quatro diferentes teores (5, 10, 15 e 20%), além da referência, sem substituição, baseando-se na revisão de literatura. As argamassas foram produzidas e avaliadas no estado fresco, quanto ao seu índice de consistência (ABNT NBR 13276:2016)[16], densidade de massa e teor de ar incorporado (ABNT NBR 13278:2005) [17]. Moldaram-se onze corpos de prova cilíndricos (5x10 cm) e seis corpos de prova prismáticos (5x5x10 cm), para cada teor de substituição e após 24 horas de cura, os corpos de prova foram desformados, identificados e submersos em tanque de água saturada de cal, onde permaneceram até as idades estabelecidas para a realização dos seguintes ensaios no estado endurecido: resistência à compressão axial (ABNT NBR 7215:2009)[18] e resistência à tração na flexão (ABNT NBR 13279:2005) [19] aos 7 e 28 dias, absorção de água e índice de vazios (ABNT NBR 9778:2009) [20] aos 28 dias.

3 | APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

3.1 Caracterização da CC

A CC foi caracterizada fisicamente e obteve-se o valor de massa específica de 2,31g/cm³, que é inferior à do agregado miúdo (2,62g/cm³), fator esse que pode ser explicado devido as partículas fibrosas presentes na cinza serem oriundas da queima incompleta do eucalipto e dos resíduos (BAHURUDEEN; SANTHANAM, 2015)[21]. Ainda

fisicamente, foi determinada a composição granulométrica da CC, que apresentou módulo de finura de 3,11, classificando-se como grossa.

Na caracterização química da CC, o ensaio de índice de atividade pozolânica (IAP) determinou que a CC analisada não pôde ser classificada como material pozolânico por não possuir resistência à compressão de no mínimo 6MPa na reação com a cal. A média dos valores obtidos pela CC foi de 1,35MPa, representando menos do 25% do mínimo exigido em norma. Referente à composição química, no ensaio de microscopia eletrônica de varredura, a Tabela 1 demonstra quantidade em percentual de massa desses determinados elementos químicos presentes na amostra analisada.

	C (%)	O(%)	Mg(%)	Al(%)	Si(%)	P(%)	Cl(%)	K(%)	Ca(%)
Espectro 1	17.088	41.250	2.142	1.135	13.947	3.737	1.369	10.944	8.389
Espectro 2	45.163	25.873	1.082	0.547	9.697	1.986	1.255	8.321	6.075
Espectro 3	8.720	36.633	4.766	1.170	8.984	4.100	4.215	12.423	18.990
Espectro 4	10.659	49.969	2.881	0.510	15.059	2.450	0.000	7.574	10.897

Tabela 1 – Quantidade em percentual de massa dos elementos químicos.

Conforme os dados apresentados sobre a composição da CC, pode-se concluir que no geral a mesma apresenta uma composição homogênea, com exceção de alguns pontos, que possuem uma maior porcentagem de Carbono, como foi possível observar no Espectro 2. Segundo De Paula (2006)([22]), a verificação de até 20% de carbono não afeta as características mecânicas da argamassa, porém pode ser percebido um decréscimo dessa resistência quando o teor de carbono passa de 30% e isso pode acontecer devido a baixa quantidade de sílica quando se tem elevada quantidade de carbono, fato que é comprovado na Tabela 1, Espectro 2 que possui altíssimo nível de carbono e baixo de sílica.

Em relação à análise termogravimétrica da cinza, a Figura 2 apresenta a alteração de massa da amostra quando submetida a mufla até 1000ºC.

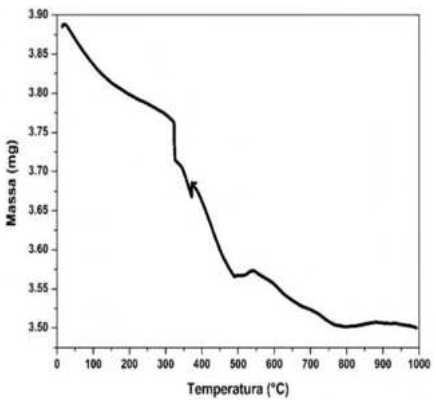

Figura 2 – Ensaio em mufla, perda de fogo.

Verificou-se que, como a cinza é resultante da queima há 300, após a perda de água, a uma temperatura de 100, não há nenhuma perda importante de massa até em torno 350. A partir dessa temperatura verifica-se uma redução da massa e uma estabilidade após os 800.

3.2 Propriedades avaliadas nas argamassas

3.2.1 Estado fresco

Os resultados das argamassas, no estado fresco, para o índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado estão apresentados na Tabela 2.

Teor de Substituição	Índice de consistência (mm)	Densidade de Massa (g/cm³)	Teor de Ar Incorporado (%)
0%	300	1,844	8
5%	280	1,818	9
10%	230	1,808	10
15%	190	1,798	10
20%	190	1,762	12

Tabela 2 – Índice de consistência da argamassa.

Nota-se que o índice de consistência da argamassa diminuiu gradativamente conforme aumentou a porcentagem de substituição da areia pela CC. A redução da fluidez da argamassa provocada pela CC pode ser explicada pela morfologia da cinza, uma vez que as partículas possuem formatos irregulares, o que faz com que estas necessitem de mais água para o molhamento completo da sua superfície (MORAES, 2001)[23]. Referente à densidade de massa, é possível observar uma pequena redução com o aumento dos teores de substituição e ao teor de ar incorporado, pode-se observar um aumento gradual de mais de 4% conforme se aumenta os teores de substituição da areia por CC.

3.2.2 Estado endurecido

Os resultados para absorção de água e índice de vazios estão apresentados na Tabela 3.

Teor de Substituição	Absorção de água (%)	Desv. Pad. (%)	CV (%)	Índice de Vazios (%)	Desv. Pad. (%)	CV (%)
0%	13,91	0,16	1,16	25,74	0,18	0,70
5%	15,50	0,14	0,93	28,02	0,25	0,89
10%	16,36	1,08	6,62	29,02	1,26	4,33
15%	17,05	0,05	0,31	29,45	0,12	0,41

20%	15,55	2,94	18,93	27,32	4,56	16,69

Tabela 3 – Absorção de água e índice de vazios.

Observa-se que tanto para a absorção de água quanto para o índice de vazios, os resultados são crescentes com o aumento dos teores de substituição, exceto para o teor de 20%. O fato das argamassas com maiores teores de CC tenderem a ser mais porosas pode ser justificado pelas cinzas, em geral, possuírem textura rugosa e superfície poros. Quanto à resistência à compressão axial e à tração, os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Teor de Substituição	Idade (dias)	Resist. à comp. (MPa)	Desv. Pad. (MPa)	Resist. à tração (MPa)	Desv. Pad. (MPa)
0%	7	12,303	1,442	7,13	1,05
	28	13,246	0,672	7,33	0,83
5%	7	10,458	0,584	6,51	0,35
	28	11,758	0,350	6,56	0,55
10%	7	10,228	0,858	6,97	0,53
	28	13,225	0,346	8,66	0,81
15%	7	10,018	1,558	6,44	1,00
	28	13,225	0,346	7,66	0,74
20%	7	10,081	0,734	7,89	0,81
	28	15,843	0,223	8,73	0,92

Tabela 4 – Resistência média à compressão e à tração nas idades de 7 e 28 dias.

Aos 28 dias, observou-se um aumento gradativo da resistência à compressão, superando o valor da referência, para o teor de substituição de 20%. Para a resistência à tração, aos 28 dias, houve uma perda em relação a referência apenas para o teor de 5%, os demais teores apresentaram ligeiro aumento de resistência em relação à referência, sendo o mais alto deles, para o teor de 20%. Estas diferenças de comportamento podem estar relacionadas às diferentes origens dos resíduos utilizados nos estudos e à natureza mista da CC, compostas pela queima de eucalipto e grãos.

4 | CONCLUSÕES

Concluiu-se que embora a CC não tenha apresentado compostos químicos que permitam o desenvolvimento de atividades pozolânicas com os compostos hidratados do cimento, ainda assim foi possível a manutenção das propriedades mecânicas das argamassas, ao utilizá-las em substituição à areia. Recomenda-se em função das resistências à compressão e à tração, o teor de substituição de 20%, indicando uma destinação adequada do resíduo com o potencial de reduzir a extração de agregados naturais, desde que também seja investigada a durabilidade dos materiais para que se

possa estabelecer melhores parâmetros de utilização.

AGRADECIMENTOS

À Maltaria Agrária por disponibilizar a matéria prima deste trabalho e ao Departamento de Química na Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela prestação de serviços.

REFERÊNCIAS

1. FREITAS, E. S. Caracterização da cinza de bagaço de cana-de-açúcar do município de Campos dos Goyacazes para o uso na construção civil, **Dissertação**, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil, 2005.

2. CANOVA, J. A.; MIOTTO, J. L.; DE MORI, L.M. A avaliação de argamassa mista de revestimento com substituição da areia natural por cinza de bagaço de cana-de-açúcar, **Ciência & Engenharia**, v. 24, n. 1, pp 125-134, Jan. 2015.

3. BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção Civil**: Novos Materiais para Construção Civil. 5. ed. Rio de Janeiro: Ltc. Pp 471, 2012.

4. FARIAS, M. S. S.; LIMA, V. L. A.; DANTAS NETO, J.; LEITE, E. P. F.; ANDRADE, A. R. S. Degradação da bacia hidrográfica do rio cabelo e os efeitos ao meio ambiente, **Principia**, v. 10, n. 14, 2006.

5. MANNAN, M. A.; GANAPATHY, C. Concrete from an agricultural waste oil-palm shell (OPS). **Building and Environment**, v. 39, p. 441-448, 2004.

6. FARINHA, C. B.; BRITO, J; VEIGA, R. Influence of forest biomass bottom ashes on the fresh, water and mechanical behaviour of cement-based mortars. **Resources, Conservation and Recycling,** v. 149, p. 750-759, 2019.

7. MAEDA, S.; DA SILVA, H. D.; CARDOSO, C. Resposta de Pinus taeda à aplicação de cinza de biomassa vegetal em Cambissolo Húmico, em vaso. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n.56, p.43-52, jan./jun. 2008.

8. CACURO, T. A.; WALDMAN, W. R. Cinzas da queima de biomassa: aplicações e potencialidades, **Revista Virtual de Química**, v. 07, n. 06, p. 2154-2165, 2015.

9. TEIXEIRA, E. R.; MATEUS, R.; CAMÕES, A.; BRANCO, F. G. Quality and durability properties and life-cycle assessment of high volume biomass fly ash mortar. **Construction and Building Materials,** v. 197, p. 195-207, 2019.

10. TOSTI, L.; ZOMEREN, A. van; PELS, J. R.; COMANS, R. N. J. Technical and environmental performance of lower carbon footprint cement mortars containing biomass fly ash as a secondary cementitious material. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 134, p. 25-33, 2018.

11. NOVAIS, R. M.; CARVALHEIRAS, J.; SENFF, L.; LABRINCHA, J. A. Upcycling unexplored dregs and biomass fly ash from the paper and pulp industry in the production of eco-friendly geopolymer mortars: A preliminary assessment. **Construction and Building Materials**, v. 184, p. 464-472, 2018.

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÈCNICAS. **NBR NM 52**. Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

13. _____. **NBR NM 248**. Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

14. _____. **NBR 5751.** Materiais pozolânicos - Determinação da atividade pozolânica com cal aos sete dias. Rio de Janeiro, 2015.

15. _____. **NBR 12653.** Materiais pozolânicos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

16. _____. **NBR 13276**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

17. _____. **NBR 13278**. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

18. _____. **NBR 7215**. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

19. _____. **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.

20. _____. **NBR 9778**. Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

21. BAHURUDEEN, A., SANTHANAM, M., Influence of different processing methods on the pozzolanic performance of sugarcane bagasse ash, **Cement and Concrete Composites**, v. 56, pp. 32-45, 2015.

22. DE PAULA, M. O. Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açucar como material de substituição parcial de cimento Portland, **Dissertação** de Mestrado., UFV, Viçosa, MG, Brasil, 2006.

23. MORAES, R. C. Efeitos Físicos e Pozolânico das adições minerais sobre a resistência mecânica do concreto. 2001. 178 f. **Dissertação** (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2001.