XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

VIABILIDADE DO USO DE CINZA DE MADEIRA DE EUCALIPTO COMO SUBSTITUTO PARCIAL DE AREIA NATURAL

Feasibility of using eucalyptus wood ash as a partial replacement for natural sand

ANDRESSA GOBBI[1], GIOVANA COSTA RÉUS[2], NICOLAS LAMONATTO LUCHT[3], EMANOEL CUNHA DE ARAÚJO[4]

[1] Docente, Universidade Federal do Paraná (UFPR), andressagobbi@ufpr.br
[2] Docente, Universidade Federal do Paraná (UFPR), giovanareus@ufpr.br
[3] Discente de Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná (UFPR), nicolaslamonatto@ufpr.br
[4] Doutorando, PPGEC, Universidade Federal do Paraná (UFPR), emanoelcunhaa@gmail

RESUMO

A utilização de cinzas de madeira como agregado miúdo, substituindo parcialmente a areia natural, tem se mostrado uma alternativa sustentável na produção de argamassas leves. Este trabalho avaliou as propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, considerando substituições de 0%, 5% e 10% da areia natural por cinza de eucalipto, com cura ao ar e cura úmida. A argamassa com 10% de substituição apresentou uma redução em média de 20% em sua densidade. Além disso, os resultados indicam que são necessárias melhorias nos ensaios de durabilidade para ampliar a aplicabilidade desse material.

Palavras-chave: Cinza de eucalipto. Densidade. Argamassa leve. Sustentabilidade. Cura.

ABSTRACT

The use of eucalyptus wood ash as a fine aggregate, partially replacing natural sand, offers a sustainable alternative for lightweight mortar production. This study evaluated the technical feasibility of replacement in mortars with 0% (REF), 5%, and 10% ash replacement, analyzing the physical characteristics of fresh state and mechanical and durability properties in the hardened states. The mortars were subjected to two curing variations. The replacement reduced mortar density by up to 20% (10% ash). However, despite its potential as a sustainable alternative for lightweight mortars, improvements in durability performance are required to expand its applicability.

Key-words: Eucalyptus ash. Density. Lightweight mortar. Sustainability. Curing.

Como citar:
GOBBI, A.; RÉUS, G. C.; LUCHT, N. L.; ARAUJO, E. C. Viabilidade do uso de cinza de madeira de eucalipto como substituto parcial de areia natural. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

O crescimento das indústrias está interligado com os avanços tecnológicos e científicos que visam melhorar a qualidade de vida das populações. Contudo, uma das consequências desses avanços na tecnologia é a alta geração de resíduos, que podem ser danosos ao meio ambiente e à vida das populações [1].

Nos últimos anos, a preocupação dos consumidores com o meio ambiente tem se intensificado, levando as autoridades e as indústrias a procurarem cada vez mais dados sobre os efeitos ambientais relacionados à produção, ao uso e ao descarte dos produtos [2]. No setor da construção civil, a intensa demanda por matérias-primas naturais tem impulsionado a substituição parcial desses recursos por resíduos sólidos, visando reduzir o consumo de matérias-primas não renováveis no setor industrial [3].

A agroindústria gera uma quantidade expressiva de resíduos provenientes de seus processos de produção e beneficiamento, como resíduos de eucalipto, casca de arroz e bagaço de cana-de-açúcar. Parte desses resíduos, como a biomassa, é utilizada para a geração de energia elétrica ou térmica por meio da combustão. No entanto, esse processo resulta na produção de um volume expressivo de cinzas, que, dependendo do tratamento térmico e do tamanho das partículas, podem se transformar em um problema relevante, não apenas ambiental, mas de saúde pública [4][5].

Neste contexto, diversos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de reutilizar esse resíduo, destacando-se sua aplicação como material pozolânico em concretos e argamassas [6][7]. No entanto, o reaproveitamento eficaz desse material depende, principalmente, de fatores relacionados às suas características físicas e químicas, essas propriedades podem variar em escala regional, influenciadas tanto pelo processo produtivo quanto pela fonte de biomassa utilizada [4].

Cinzas que não apresentam características pozolânicas, seja devido ao baixo teor de aluminossilicatos ou à elevada presença de fases inertes, são frequentemente negligenciadas em estudos e aplicações na construção civil. No caso específico da cinza de eucalipto, observa-se que ela exibe características típicas de um material com baixo potencial pozolânico. Essa condição decorre não apenas das partículas da própria cultura do eucalipto, mas também da alta eficiência dos fornos industriais utilizados na queima do eucalipto. Essas características tornam o material pouco atrativo para a área de engenharia civil [5][6][8].

No entanto, mesmo sem apresentar atividade pozolânica evidente, a cinza de eucalipto pode ser explorada como um material alternativo em compósitos cimentícios, especialmente como substituto parcial ao agregado miúdo. Desse modo, este estudo busca investigar a influência dessa aplicação na formulação de argamassas, contribuindo para a valorização de resíduos e para o desenvolvimento de soluções mais sustentáveis no setor da construção civil.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração das argamassas foi utilizado cimento CP V-ARI com massa específica de 3,06 g/cm³. Uma areia natural com dimensão máxima característica de 2,36 mm [9] foi utilizada como agregado. Além disso, uma cinza de madeira de eucalipto (Figura 1) foi utilizada como

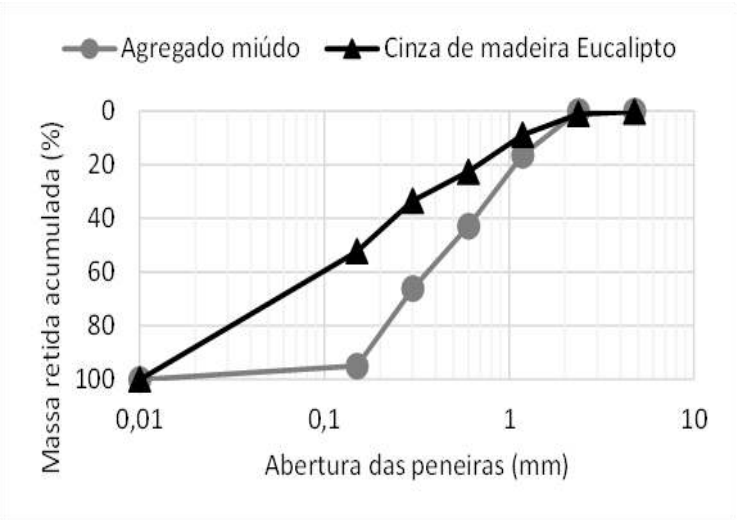
substituto parcial do agregado miúdo. Esse material é um resíduo particulado fino obtido da queima de madeira de eucalipto em caldeiras de secagem de grãos. Essa cinza foi preparada por meio de secagem em estufa a 40 °C e peneiramento, a fim de replicar a curva granulométrica da areia natural. A temperatura de 40 °C foi adotada, pois, caso o processo de queima na indústria não tenha sido completamente eficiente, temperaturas mais altas poderiam levar à combustão da cinza. A distribuição granulométrica dos agregados (areia natural e cinza de madeira) foi determinada conforme NBR 17054 [9], utilizando a série normal de peneiras. A Figura 2 apresenta as curvas granulométricas obtidas.

Figura 1 – Cinza de madeira de eucalipto antes da secagem e do peneiramento.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 2 – Distribuição granulométrica do agregado miúdo e da cinza de madeira de eucalipto.



Fonte: Os autores (2025).

A massa específica dos materiais foi determinada de acordo com a NBR 16605 [10] e NM 52 [11]. Esse parâmetro é apresentado na Tabela 1. É possível evidenciar a densidade inferior da cinza de madeira em relação à areia natural.

Tabela 1 – Densidade dos agregados utilizados.

Material	Massa específica (g/cm³)
Agregado miúdo	2,48
Cinza de madeira de eucalipto	2,35

Fonte: Os autores (2025).

Um aditivo superplastificante de terceira geração com massa específica de 1,10 g/cm³ com teor de sólidos de 44% e pH 6 foi utilizado 1% da massa de cimento na composição das argamassas para melhoria da trabalhabilidade das misturas.

Os corpos de prova foram moldados com diferentes traços, dosados em massa, variando o teor de substituição parcial do agregado miúdo por cinza de madeira de eucalipto em 5% e 10%. A Tabela 2 apresenta os traços utilizados.

Tabela 2 – Traços utilizados.

Traço	Cimento	Areia	Cinza de madeira	Água	Aditivo
REF	1	2,46	0	0,36	1%
5%	1	2,33	0,12	0,50	1%
10%	1	2,21	0,23	0,50	1%

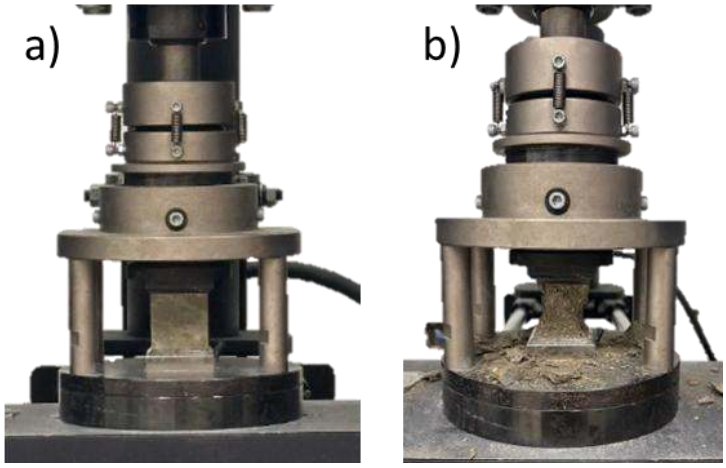
Fonte: Os autores (2025).

As argamassas foram preparadas em misturador mecânico, seguindo três etapas: (i) mistura a seco dos agregados e cimento por 60 segundos; (ii) adição gradual de água e aditivo superplastificante, com mistura contínua por 120 segundos; e (iii) repouso da mistura por 30 segundos para raspagem da cuba, seguido de nova homogeneização por mais 60 segundos. Foram utilizados 3 traços de argamassa, variando o teor de substituição da areia natural (0%, 5% e 10%) associados a 2 condições de cura (ao ar e úmida), o que resultou em 6 tipos distintos de amostras. Os ensaios realizados incluíram, índice de consistência e densidade aparente no estado fresco. No estado endurecido, foram avaliadas a resistência à compressão, resistência à tração na flexão, resistividade elétrica superficial, capilaridade e absorção de água.

A trabalhabilidade das misturas foi determinada pelo ensaio de índice de consistência, utilizando a mesa de consistência (*flow table*) conforme a NBR 13276 [12]. No ensaio de densidade aparente no estado fresco, a argamassa foi depositada em um recipiente cilíndrico metálico com capacidade de 400 ml e compactada em três camadas, aplicando-se 25 golpes em cada camada com o auxílio de uma haste metálica, conforme metodologia descrita por Araújo [13].

A resistência à compressão foi determinada aos 28 e 56 dias de idade em 3 corpos de prova cúbicos de 40 x 40 x 40 mm para cada tipo de amostra, moldados em três camadas, aplicando-se 25 golpes em cada camada com o auxílio de uma haste metálica. Os ensaios foram realizados em uma prensa hidráulica INSTRON, Modelo 23-300 (Figura 3), aplicando carga à taxa de 500 N/s, conforme NBR 13279 [14].

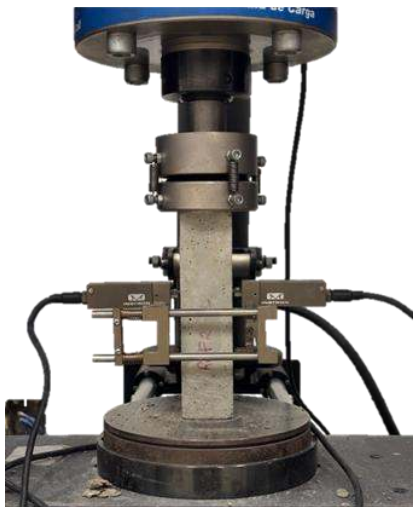
Figura 3 – Ensaio de resistência à compressão aos 28 dias da amostra de referência com cura ao ar: a) ensaio em andamento; b) ensaio finalizado.



Fonte: Os autores (2025).

O ensaio de tração na flexão foi realizado aos 28 e 56 dias de idade em 3 amostras de cada tipo pelo método dos três pontos. O ensaio foi realizado conforme a NBR 13279 [14] em amostras prismáticas (40 x 40 x 160 mm) com velocidade de carregamento de 50 N/s. O módulo de elasticidade estático das argamassas foi determinado com base nos estudos de Marques et al. [15]. Para tanto, os corpos de prova prismáticos (40 x 40 x 160 mm) (Figura 4) foram submetidos a ciclos de carregamento e descarregamento (carregamento máximo de 33% da tensão de ruptura), enquanto, as deformações laterais foram mensuradas por transdutores de deslocamento [15].

Figura 4 – Ensaio de módulo de elasticidade da amostra REF, cura úmida, 28 dias.



Fonte: Os autores (2025).

A durabilidade das argamassas foi avaliada pelo ensaio de resistividade elétrica superficial (RES). A RES está relacionada com a porosidade do corpo de prova, o que indica a durabilidade do material à base de cimento Portland [16]. Os ensaios foram realizados em corpos de prova prismáticos (40 x 40 x 160 mm), com medições efetuadas aos 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 e 56

dias. Como as mesmas amostras foram empregadas tanto na medição da RES quanto no ensaio de módulo de elasticidade e tração na flexão, parte delas foi avaliada apenas até os 28 dias, tendo sido rompidas nesse período.

O ensaio foi conduzido pelo método dos quatro pontos, utilizando o aparelho Resipod (Proceq), com espaçamento de 50 mm entre os eletrodos e as amostras em condição saturado superfície seca (SSS) (Figura 5).

Figura 5 – Ensaio de resistividade elétrica superficial.



Fonte: Os autores (2025).

Ademais, foram realizados ensaios de capilaridade e absorção de água, conforme a NBR 15259 [17], 24 horas antes da ruptura dos corpos de prova. Para garantir a planicidade, a base dos corpos de prova foi lixada e, em seguida, as amostras foram limpas e sua massa inicial aferida. Em seguida, foram imersos 5 ± 1 mm em água, com a face quadrada voltada para baixo (Figura 6). Após 10 e 90 minutos de imersão, os corpos de prova foram retirados e novamente pesados para determinação da absorção de água.

Figura 6 – Ensaio de capilaridade e absorção de água.



Fonte: Os autores (2025).

RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta a média e desvio padrão da densidade aparente e do índice de consistência das argamassas, como parâmetro de caracterização do estado fresco dos traços das amostras. Os resultados indicam que a densidade aparente diminui com o aumento do teor de cinza de madeira. Para 5% de substituição, a densidade caiu aproximadamente 10%, enquanto para 10% de substituição, a redução foi em média de 20%. Essa redução está principalmente associada à menor massa específica da cinza de madeira em comparação à areia, o que contribui diretamente para a diminuição da densidade dos traços, corroborando com as pesquisas encontradas na literatura [19][20]. Além disso, pode estar associada à maior incorporação de ar, decorrente da redução na trabalhabilidade, que dificulta o empacotamento das partículas.

Tabela 3 – Índice de consistência e a densidade das argamassas no estado fresco.

Traço	Densidade aparente (g)	Desvio padrão	Índice de consistência (mm)	Desvio padrão
REF	917,11	6,26	248,98	31,50
5%	813,61	14,24	230,30	21,64
10%	739,34	42,18	0,00	0,00

Fonte: Os autores (2025).

O índice de consistência também diminuiu com o aumento do teor de substituição, atingindo 0 mm nas misturas com 10% de cinza (Figura 7), segundo [19] [20] [21], foi observado também a redução da consistência conforme o aumento do percentual de substituição do agregado miúdo por cinza de madeira de eucalipto. Esse comportamento demonstra uma trabalhabilidade extremamente reduzida, o que pode gerar desafios na aplicação prática dessas argamassas, como maior esforço de compactação e dificuldade de manuseio. Para viabilizar o uso dessas misturas, podem ser necessários ajustes no teor de água ou a adição de aditivos plastificantes.

Figura 7 – Resultado do ensaio de consistência do traço com 10% de substituição.

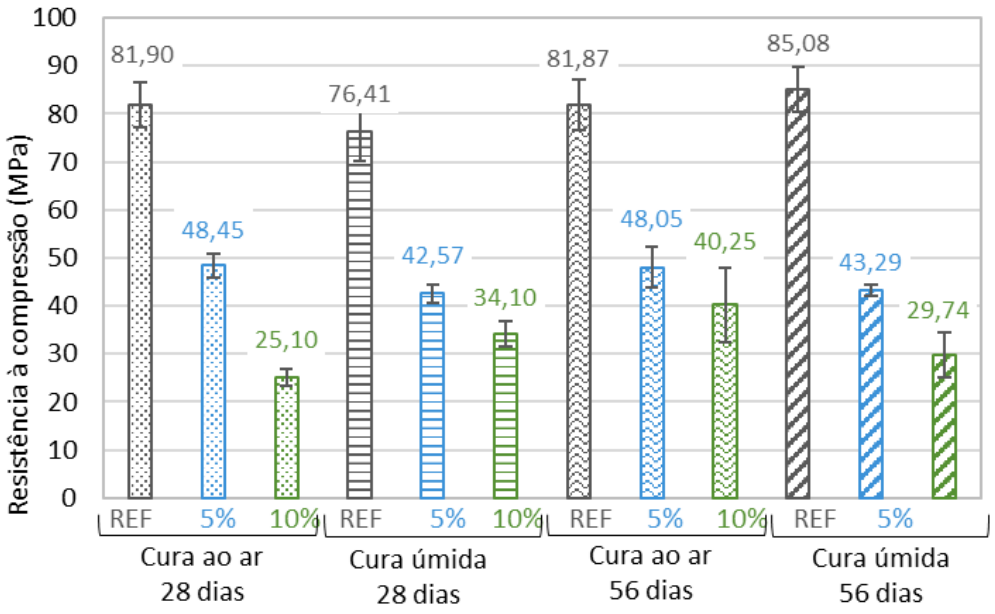


Fonte: Os autores (2025).

A Figura 8 apresenta os resultados da resistência à compressão para diferentes condições de cura (ao ar e úmida) e idades (28 e 56 dias). Observa-se uma redução progressiva na resistência à compressão com o aumento do teor de cinza de madeira, tanto aos 28 quanto

aos 56 dias. Para 10% de substituição, a redução foi mais acentuada, atingindo aproximadamente 68,75% na cura ao ar aos 28 dias, comparada ao traço de referência, nas literaturas [19][20][21][22][23], também foi averiguado como a adição de cinza de eucalipto interfere na resistência a compressão da argamassa onde todos elas concluíram na queda da resistência.

Figura 8 – Resultado do ensaio de resistência à compressão para amostras de argamassa com diferentes teores de substituição e condições de cura aos 28 e 56 dias.



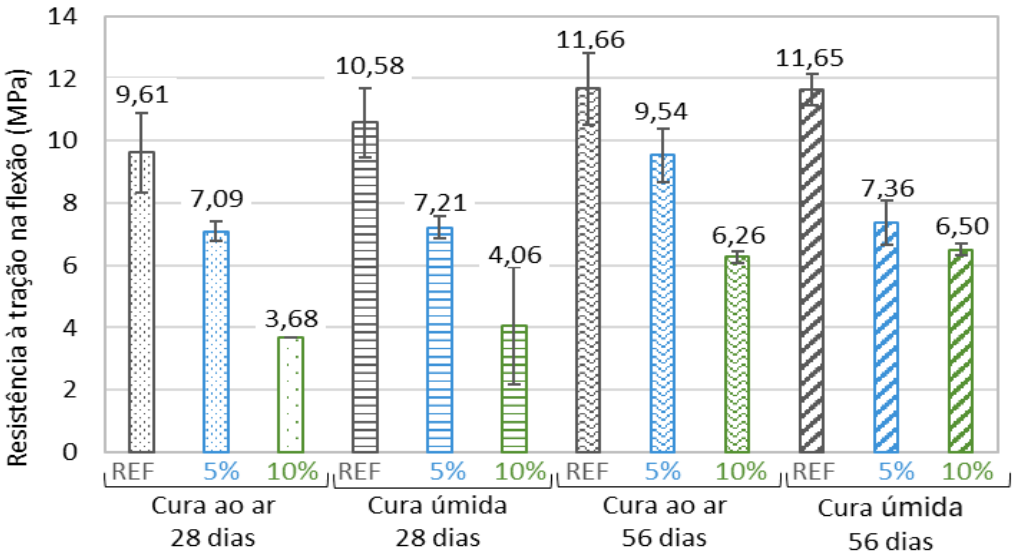
Fonte: Os autores (2025).

O resultado do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias das amostras com cura ao ar e, foi reduzido em 40,84% para o traço com 5% de substituição, e em 69,35% para o traço com 10%, em comparação ao traço de referência. Na cura úmida, as reduções foram de 44,28% e 55,37%, para os traços de 5% e 10% em relação a amostra de referência, respectivamente. Aos 56 dias, na cura ao ar, as reduções foram de 41,3% para 5% de substituição e 50,8% para 10%, mantendo a tendência de impacto negativo com o aumento do teor de cinza. Já na cura úmida aos 56 dias, a resistência foi reduzida em 49,1% para o traço com 10% de substituição, enquanto o traço com 5% apresentou um comportamento mais consistente, com uma redução de 43,29%. Os resultados evidenciam que, independentemente do teor de substituição e tipo de cura, os traços com cinza apresentam uma queda expressiva de resistência.

A cura ao ar apresentou maior variabilidade nos resultados, especialmente nos traços com 10% de substituição, sugerindo que a baixa umidade durante o processo de cura pode ter gerado microfissuras e uma porosidade mais acentuada. O aumento no teor de cinza para 10% resultou em maior dispersão dos valores, o que pode ser atribuído à baixa trabalhabilidade da mistura e a dificuldade de moldagem.

Os ensaios de tração na flexão (Figura 9) evidenciaram uma redução na resistência com o aumento do teor de substituição de areia por cinza de madeira.

Figura 9 – Resultado do ensaio de resistência à tração na flexão para amostras de argamassa com diferentes teores de substituição e condições de cura aos 28 e 56 dias.



Fonte: Os autores (2025).

Nas amostras com 28 dias de idade, submetidas à cura ao ar, as reduções foram de 26,22% e 61,71% para os traços de 5% e 10%, respectivamente, em comparação à referência. Para as amostras submetidas à cura úmida, as reduções foram de 31,85% para 5% e 61,63% para 10% de substituição. Além disso, nas amostras de 10% de substituição em cura ao ar aos 28 dias, ocorreu a invalidação de dois dos três corpos de prova devido a problemas técnicos na realização do ensaio, o que impactou a análise estatística.

A proximidade dos resultados entre as diferentes condições de cura indica que esse parâmetro tem pouca influência no desempenho da resistência à tração na flexão, essa relação tambem foi enviadenciada na literatura [20]. Por outro lado, o teor de substituição de areia por cinza de madeira se mostrou o principal fator responsável por afetar a resistência à tração nas argamassas.

As Tabelas 4 e 5 apresentam as médias da resistividade elétrica superficial (RES) e o desvio padrão (DP) para 28 e 56 dias, respectivamente. As médias exibidas nas tabelas foram corrigidas utilizando um fator de ajuste proposto por Araújo *et al*. [18]. Esse fator de correção, igual a 0,1756, é necessário devido ao efeito de confinamento da corrente elétrica em amostras prismáticas, que pode alterar a medição direta da RES. A aplicação do coeficiente garante que os resultados sejam mais representativos das condições reais.

A RES das argamassas estudadas apresentou redução significativa com o aumento da substituição da areia por cinza de madeira. Aos 28 dias, os traços com 5% e 10% de cinza de madeira apresentaram reduções de 72,9% e 91,9% na cura ao ar, e 76,6% e 83,5% na cura úmida, respectivamente. A cura úmida melhorou a RES em relação à cura ao ar, mas não foi suficiente para recuperar os valores da argamassa de referência.

Tabela 4 – Resistividade elétrica superficial, pelo método de quatro pontos, em amostras com leituras realizadas até 28 dias de idade.

Traço		RES (kΩ·cm)	DP	RES (kΩ·cm)	DP	RES (kΩ·cm)	DP	RES (kΩ·cm)	DP
		7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
Cura ao ar	REF	7,62	0,46	9,67	0,14	9,64	0,33	12,27	0,20
	5%	2,31	0,18	2,77	0,17	2,87	0,22	3,32	0,24
	10%	0,66	0,04	0,83	0,07	0,97	0,06	1,00	0,08
Cura úmida	REF	7,87	0,24	9,43	0,36	10,48	0,30	11,20	0,39
	5%	1,97	0,03	2,34	0,02	2,70	0,04	2,62	0,03
	10%	1,69	0,05	1,90	0,04	1,94	0,07	1,85	0,06

Fonte: Os autores (2025).

Tabela 5 – Resistividade elétrica superficial, pelo método de quatro pontos, em amostras com leituras realizadas até 56 dias de idade.

Traço		RES (kΩ·cm)	DP	RES (kΩ·cm)	DP	RES (kΩ·cm)	DP	RES (kΩ·cm)	DP
		7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
Cura ao ar	REF	7,20	0,22	7,27	0,49	11,54	0,13	10,14	0,23
	5%	2,66	0,06	2,75	0,04	3,48	0,08	3,39	0,09
	10%	1,22	0,05	1,30	0,09	1,42	0,06	1,68	0,08
		35 dias		42 dias		49 dias		56 dias	
	REF	10,85	0,33	10,89	0,15	16,04	0,41	11,69	0,23
	5%	3,56	0,09	3,60	0,08	4,68	0,17	4,23	0,08
	10%	1,84	0,07	1,82	0,05	2,45	0,09	2,27	0,08
		7 dias		14 dias		21 dias		28 dias	
Cura úmida	REF	8,42	0,24	8,71	0,05	6,97	0,12	10,00	0,21
	5%	2,08	0,10	2,63	0,10	2,87	0,13	3,09	0,12
	10%	1,30	0,03	1,64	0,05	1,79	0,02	1,84	0,03
		35 dias		42 dias		49 dias		56 dias	
	REF	10,47	0,28	11,39	0,16	12,82	0,13	11,28	0,31
	5%	3,52	0,15	3,29	0,14	3,44	0,11	3,73	0,18
	10%	2,03	0,03	1,92	0,03	1,99	0,03	2,15	0,09

Fonte: Os autores (2025).

Os resultados das amostras com leitura até os 56 dias de idade confirmam a tendência observada nas amostras até os 28 dias, evidenciando que a substituição parcial da areia por cinza de madeira reduz significativamente a resistividade elétrica superficial da argamassa. As amostras com 5% e 10% de cinza de madeira mantiveram valores inferiores aos da referência, com reduções de, aproximadamente, 64% e 82% na cura ao ar, e 67% e 81% na cura úmida, respectivamente. A influência da cura úmida permaneceu positiva, mas não foi suficiente para reverter o impacto da substituição da areia.

A Tabela 6 apresenta as médias de módulo de elasticidade e o desvio padrão, determinados para 28 dias e 56 dias nas condições de cura ao ar e úmida.

Tabela 6 – Módulo de elasticidade das amostras de aos 28 e 56 dias.

Traço		Módulo de elasticidade (GPa)	DP	Módulo de elasticidade (GPa)	DP
		28 dias		56 dias	
Cura ao ar	REF	4,42	-	7,91	0,14
	5%	5,10	0,42	5,90	0,42
	10%	3,42	-	4,66	0,36
		28 dias		56 dias	
Cura úmida	REF	7,48	0,08	7,30	0,28
	5%	4,58	0,34	4,46	0,21
	10%	3,10	0,23	4,49	0,11

Fonte: Os autores (2025).

As amostras com 5% e 10% de cinza de madeira apresentaram valores inferiores aos da referência em ambas as idades, com reduções de aproximadamente 15% e 23% na cura ao ar e 39% e 59% na cura úmida, respectivamente, aos 28 dias. Aos 56 dias, as reduções foram de 25% e 41% na cura ao ar e 39% e 38% na cura úmida, demonstrando que, apesar do ganho de rigidez ao longo do tempo, a influência da adição permaneceu negativa, o trabalho de [20] discute que a adição de cinza de eucalipto não é a principal influencia no modulo de elasticidade.

As Tabelas 7 e 8 apresentam as médias de absorção nos tempos 10 e 90 min e o coeficiente de capilaridade, determinados no tempo de cura de 28 dias e 56 dias.

Tabela 7 – Resultado da absorção e coeficiente capilaridade, amostras de 28 dias.

Traço		Absorção 10 min (g/cm^2)	Absorção 90 min (g/cm^2)	Coeficiente de capilaridade ($g/dm^2.min^{1/2}$)
Cura ao ar	REF	- 0,041	- 0,049	- 0,117
	5%	- 0,011	- 0,037	- 0,417
	10%	- 0,010	- 0,064	- 0,860
Cura úmida	REF	- 0,037	- 0,055	- 0,283
	5%	- 0,015	- 0,076	- 1,020
	10%	0,170	0,117	- 0,860

Fonte: Os autores (2025).

Tabela 8 – Resultado da absorção e capilaridade, amostras de 56 dias.

Traço		Absorção 10 min (g/cm^2)	Absorção 90 min (g/cm^2)	Coeficiente de capilaridade ($g/dm^2.min^{1/2}$)
Cura ao ar	REF	0,008	- 0,001	- 0,137
	5%	0,007	- 0,011	0,053
	10%	0,026	0,052	0,410
Cura úmida	REF	- 0,016	- 0,022	- 0,097
	5%	- 0,011	- 0,048	- 0,577
	10%	0,047	0,017	- 0,467

Fonte: Os autores (2025).

Os resultados de absorção e capilaridade indicam que a substituição parcial da areia por cinza de madeira influenciou a absorção de água ao longo do tempo, os estudos de [19] mostram a influencia da cinza de eucalipto na absorção de água por capilaridade. Aos 56 dias, os traços com cinza de madeira apresentaram maior coeficiente de capilaridade e absorção acumulada em comparação à referência, especialmente na cura ao ar. A cura úmida reduziu esses efeitos, mas não impediu o aumento progressivo da absorção. Esses resultados sugerem que a incorporação de cinza de madeira pode alterar a estrutura porosa da argamassa, potencialmente impactando sua resistência à penetração de umidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, concluiu-se que a substituição de agregados miúdos por cinzas de eucalipto, nas proporções de 5% e 10%, reduziu tanto a resistência à compressão, resistência à tração por flexão e módulo de elasticidade das amostras. Ademais, a incorporação das cinzas reduziu os valores dos ensaios de resistividade elétrica, e elevou absorção de água e coeficiente de capilaridade, o que indica uma diminuição na durabilidade da argamassa produzida.

Apesar do comprometimento das propriedades avaliadas, ressalta-se que o uso das cinzas de eucalipto na composição de argamassas ainda demanda estudos adicionais. Investigações futuras são necessárias para determinar se é possível incorporar esse subproduto mantendo os requisitos mínimos de desempenho mecânico, físico e de durabilidade desejáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Laboratório de Materiais e Estruturas (LaME), Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC), Centro de Estudos em Engenharia Civil (CESEC), Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela estrutura física e financeira fornecida para desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] BARDINI, I.S., MARCHIORO, T.B. **Um estudo exploratório de uso de vidro reciclado como agregado de concreto**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso, UNISUL, Tubarão, Santa Catarina. 2007.

[2] PRADO, M.R. **Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de vidro, alumínio e pet utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil**. 2007. Tese. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná. 2007.

[3] FREIRE, M.N., SOUSA, S.J.G., HOLANDA, J.N.F. Using eggshell in red wall tiles. **Waste and Resource Management**, 161:23-27. 2008. Disponível em: http://www.icevirtuallibrary.com/doi/abs/10.1680/warm.2008.161.1.23?journalCode=jwarm

[4] AYOBAMI, A. B. Performance of wood bottom ash in cement-based applications and comparison with other selected ashes: Overview. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 166, p. 112–135, 05 mar. 2021.

[5] BONFIM, W. B.; MARTINS DE PAULA, H. Characterization of different biomass ashes as supplementary cementitious material to produce coating mortar. **Journal of Cleaner Production**, p. 125869, 8 jan. 2021.

[6] FRANCA, D. F. S.; REY, R. O.; FERREIRA, L. R. C.; RIBEIRO, D. V. Avaliação da reologia, da RAA e das propriedades de argamassas no estado fresco utilizando cinza de eucalipto como substituição parcial ao cimento Portland. **Ambiente Construído**., Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 153-166, setembro, 2016.

[7] SILVA, L. H. P.; TAMASHIRO, R.; PAIVA, F. F. G.; SANTOS, L. F.; TEIXEIRA, S. R.; KINOSHITA, A.; ANTUNES, P. A. Bamboo leaf ash for use as mineral addition with portland cement. **Journal of Building Engineering**, v. 42, p. 200–311, 28 mai. 2021.

[8] SALES, A.; LIMA, S. A. Use of brazilian sugarcane bagasse ash in concrete as sand replacement. **Waste Management**, v. 30, p. 1114–1122, 18 fev. 2010.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABTN). **NBR** 17054: Agregados-determinação da composição granulométrica - método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

[10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABTN). **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABTN). **NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

[12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

[13] ARAÚJO, Emanoel Cunha. **Eficiência de argamassas de reparo em nano materiais: propriedades mecânicas, durabilidade e microestrutura**. 2022. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2022.

[14] 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.

[15] MARQUES, A. I. et al. Modulus of elasticity of mortars: Static and dynamic analyses. **Construction and Building Materials**, v. 232, p. 117216, 30 jan. 2020.

[16] ARAÚJO, E. C.; SURMAS, J. S.; MACIOSKI, G.; PIERALISI, R.; MEDEIROS, M. H. F. Influência da incorporação de grafeno e sílica ativa nas propriedades físicas e de durabilidade de argamassas cimentícias. In: 4° Seminário Baiano de Durabilidade e Desempenho das Construções, 2022. **Anais**. Ilhéus-BA. 2022.

[17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005.

[18] ARAÚJO, E. C.; ALBUQUERQUE, D. E. N.; GOBBI, A.; KLEIN, N. S.; MEDEIROS, M. H. F. Influência da densidade de empacotamento de partículas na resistividade elétrica de pastas compostas por sílica ativa. In: CBPAT - Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 2024. **Anais**. Fortaleza-CE. 2024.

[19] OLIVEIRA JUNIOR, A. M. **Análise do desempenho de argamassas com cinza de eucalipto como substituto parcial da areia**. 2023. Dissertação. Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, São Paulo. 2023.

[20] ROCHA, T. M. S.; MIRANDA, L. F. R.; PARCHEN, C. F. A. Influência da composição granulométrica das partículas de resíduos de madeira nas propriedades de compósitos minerais: parte 1 - cimento-madeira. **Ambiente Construído**, 19 (3), 113–126. 2019.

[21] AMARAL, K. A. **Comportamento da cinza de eucalipto em substituição à areia em argamassa de assentamento**. 2018. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, Paraná. 2018.

[22] MARTINS, A. B. B. **Incorporação de cinza de caldeira em matriz cimentícia para produção de argamassa**. 2022. Dissertação.Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, São Paulo. 2022.

[23] LEITE, M. A. V.; CAMPOS, C. I.; SOUZA, A. J. D.; MOLINA, J. C.; SILVA, M. F. F.; SILVA, J. V. F. Análise do desempenho físico-mecânico de compósitos cimentício com adição de partículas de madeira eucalipto. **Ambiente Construído**, 25, 113–126. 2025.