Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira
XVIII EBRAMEM
05 a 07 de maio de 2025
Curitiba, Paraná, Brasil

ESTUDO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE CINZAS PROVENIENTES DA QUEIMA DE BIOMASSA DE MADEIRA EM ARGAMASSAS

Ana Paula de M. Nesi[1], Géssica K. Bilcati[1]; Eloise A. Langaro[2*]; Henrique A. Holzmann[1]; Elias Pereira[2]

*Autor de contato: ealangaro@uepg.br

[1] Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, Brasil
[2] Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil

RESUMO

O desempenho das argamassas é influenciado pelas matérias-primas utilizadas e pelas proporções em que são combinadas, o que determina tanto o comportamento do material durante a aplicação quanto a microestrutura do produto endurecido. A utilização de materiais de construção civil que ofereçam maior desempenho, reduzam custos e minimizem impactos ambientais é uma alternativa promissora. Nesse contexto, a presente pesquisa avaliou a utilização de cinzas provenientes da queima de biomassa de madeira na substituição parcial do cimento, em massa, em teores de 10% e 15% em argamassas no estado fresco. O estudo foi desenvolvido considerando o impacto das substituições da cinza de madeira nas argamassas através da consistência, por meio do ensaio flow-table, da densidade de massa, do teor de ar incorporado e do comportamento reológico através do ensaio de squeeze-flow. A substituição parcial em 10% e 15% resultaram na redução do índice de consistência das argamassas em 5,76% e 9,61%, respectivamente, em comparação com a argamassa de referência, o que se deve à natureza hidrofílica da cinza. Por outro lado, a substituição de cinza de madeira não alterou a densidade de massa nem o teor de ar incorporado. Em relação ao comportamento reológico, as argamassas com cinza de madeira apresentaram menor deslocamento, o que indica redução da capacidade de acomodar deformações e um maior risco de fissuras. Essa redução de plasticidade foi observada independentemente do tempo de mistura (15, 30 ou 45 minutos). Apesar dos impactos positivos na sustentabilidade, a incorporação das cinzas reduziu a trabalhabilidade das argamassas, sugerindo a necessidade de estudos adicionais que incluam aditivos plastificantes para viabilizar o uso desse material em larga escala.
Palavras-chave: Cinza de madeira; Squeeze-flow; Revestimentos argamassados.

ABSTRACT

The performance of mortars is influenced by the raw materials used and the proportions in which they are combined, which determine both the behavior of the material during application and the microstructure of the hardened product. Using construction materials that offer better performance, reduce costs, and minimize environmental impacts is a promising alternative. In this context, the present research evaluated the use of ashes from wood biomass combustion as a partial replacement of cement by mass at 10% and 15% levels in fresh-state mortars. The study was developed considering the impact of wood ash substitutions on mortars through consistency, measured by the flow-table test; mass density; air content; and rheological behavior, assessed through the squeeze-flow test. Partial substitution at 10% and 15% resulted in a reduction of the consistency index of the mortars by 5.76% and 9.61%, respectively, compared to the reference mortar, due to the hydrophilic nature of the ash. On the other hand, wood ash substitution did not alter the mass density or air content. Regarding rheological behavior, mortars with wood ash showed lower displacement, indicating a reduction in the ability to accommodate deformations and an increased risk of cracking. This reduction in plasticity was observed regardless of the mixing time (15, 30, or 45 minutes). Despite the positive impacts on sustainability, the incorporation of ash reduced the workability of the mortars, suggesting the need for further studies that include plasticizing additives to enable large-scale use of this material.
Keywords: Wood ash; Squeeze-flow; Mortared coatings.

1. INTRODUÇÃO

A busca por materiais para construção civil de baixo carbono tem muitas aplicações potenciais e oferece oportunidades promissoras devido aos seus benefícios ambientais. Grande parte dos resíduos gerados por indústrias pode ser incorporado de modo a produzir novos materiais de construção econômicos e sustentáveis, atendendo à crescente demanda que atualmente exige esta área (Althoey *et al.*, 2023).

O emprego de resíduos em materiais de construção, tais como materiais cimentícios suplementares, que são subprodutos de indústrias como também componentes de madeira, pode ser uma alternativa vantajosa devido à redução do emprego de matérias-primas não renováveis que são necessárias às atividades da construção civil (Gluitz, Marafão, 2009).

A substituição do cimento Portland na construção civil é uma das metas atingidas, devido à produção do cimento que consome uma grande quantidade de energia e depende de elementos produzidos naturalmente, como calcário para a fabricação, o que pode contribuir para uma potencial escassez desses recursos (Miller *et al.,* 2018). Portanto, as cinzas quando incorporada aos compostos cimentícios pode ser uma alternativa promissora, diminuindo o impacto ao meio ambiente, e promovendo a melhoria nas características físicas e mecânicas do material, assim como em suas características ecológicas (Borges *et. al*. 2017).

O comportamento dos materiais de construção civil depende das propriedades dos componentes que os integram e suas interações. A fluidez inicial de suspensões concentradas, tais como a argamassa, também depende da composição granulométrica, do índice de forma e da textura superficial das partículas (Bonen e Sarkar, 1995).

O estudo do comportamento reológico da argamassa pode ser utilizado para selecionar e otimizar as adições de materiais alternativos, bem como a utilização de resíduos, fornecendo informações úteis sobre estudos de dosagem, plasticidade e facilidade de aplicação.

Dentre os materiais de construção, destaca-se as argamassas de revestimento, responsáveis pela estanqueidade e durabilidade dos elementos de parede nas quais são aplicadas (Haddad, 2020). As argamassas são aplicadas no estado fresco e, apesar de ser uma etapa intermediária do processo, o comportamento reológico é de fundamental importância para possibilitar uma moldagem fácil e isenta de defeitos, minimizando a ocorrência de manifestações patológicas nos revestimentos após endurecimento (fissuras, descolamento e manchas) (Cardoso, John, Pillegi, 2009).

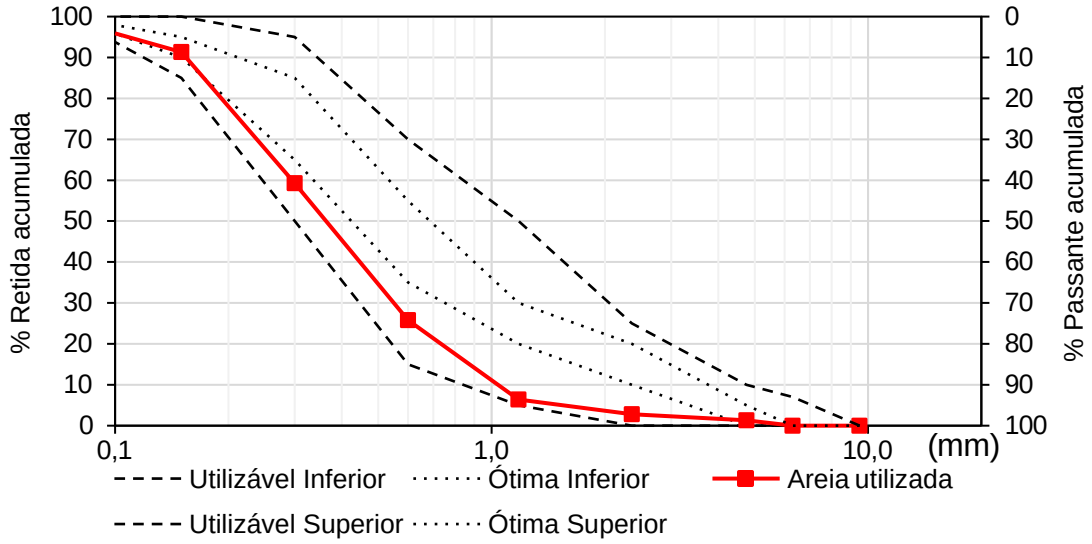
Diante desse contexto este trabalho tem por finalidade avaliar a viabilidade técnica do emprego de cinzas oriundas da queima de biomassa de madeira, na substituição parcial do cimento em argamassas, visando proporcionar uma alternativa de destino ao resíduo por meio de sua reintrodução em uma cadeia produtiva, além de reduzir a demanda por um material de origem não renovável.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O cimento Portland utilizado nessa pesquisa foi do tipo CP II F-32, de massa específica e unitária de 2,91 g/cm^3 e 1,04 g/cm^3, respectivamente. A Figura 1 mostra a análise granulométrica da areia natural utilizada para compor a argamassa. Essa areia se apresenta na zona utilizável inferior, com módulo de finura 2,85. A massa específica e massa unitária da areia utilizada é de 2,59 g/cm^3 e 1,63 g/cm^3, respectivamente.

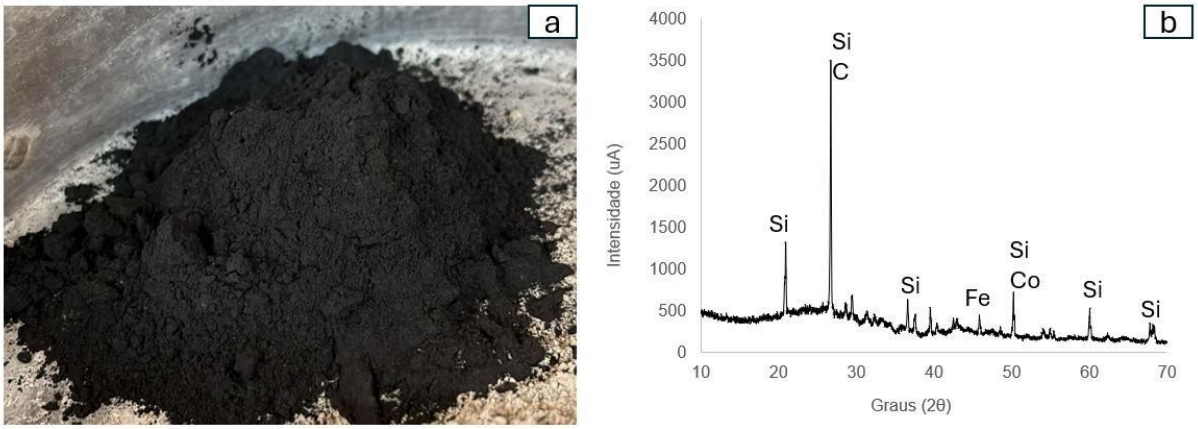
Figura 1 – Curva granulométrica da areia



Fonte: os autores.

A cinza de madeira (Figura 2-a) empregada como substituição parcial do cimento na produção das argamassas foram obtidas através da queima de madeira do beneficiamento dos grãos. A massa específica da cinza de madeira é de 2,24 g/cm^3. Na Figura 2-b são apresentadas o difratograma de raio-X. Os dados de difração foram coletados em um difratômetro, operando em modo de transmissão, usando a radiação CuKα1 (λ = 1,54056 Å), na faixa de 10 a 70º, com tamanhos de grau de 0,015º e um tempo de contagem de 100s a cada 1,05º.

Figura 2 – Amostras (a) e DRX das cinzas de madeira (b)



Onde: Si = Silício; C = Carbono; Co = Cobalto; Fe = Ferro.

Fonte: os autores.

2.1.1 Formulação e preparação das argamassas

Neste item é apresentada a descrição do programa experimental da pesquisa, e para sua estruturação foram definidos parâmetros que constituem as variáveis da análise experimental sendo os teores de substituição parcial do cimento em 10% e 15% em relação à massa do cimento como também foram determinados parâmetros fixos como o traço empregado de 1:3 (em volume). Na Tabela 1 são mostrados os consumos dos materiais e os traços (em massa e volume).

Tabela 1 – Consumo dos materiais empregados na pesquisa

Formulação	Traço (Volume)	Traço (Massa)	Cimento (g)	Areia (g)	Substituição de cinza (g)
REF 0%	1:3	1:4,42	176,41	797	0
CINZA 10%			158,77		17,64
CINZA 15%			149,95		26,46

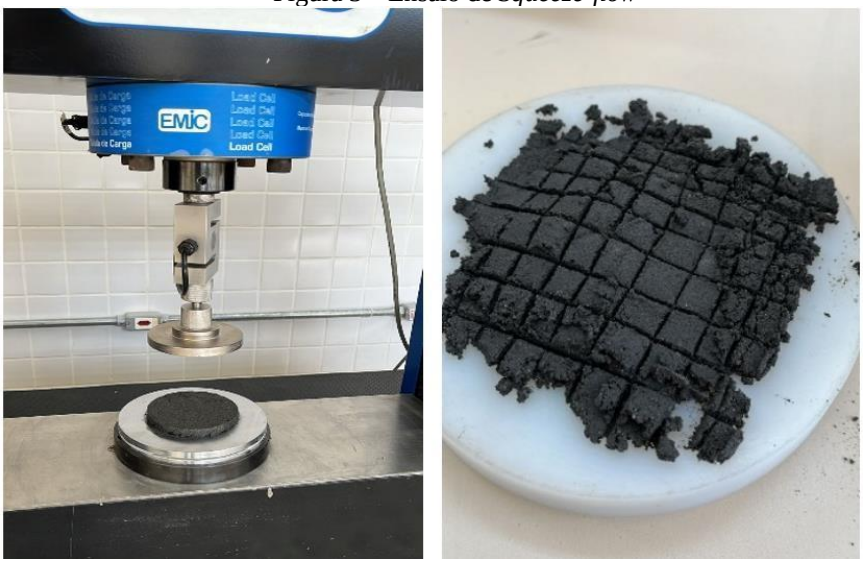
Fonte: os autores.

Para determinar a relação água/materiais secos, a consistência foi ajustada conforme a norma NBR 13276 (ABNT, 2005) para as argamassas de referência. O teor de água foi ajustado para alcançar o espalhamento padronizado dentro do intervalo de 260 ± 10 mm. A relação água/materiais secos de 0,18 resultou em um índice de consistência de 265 mm, sendo essa a relação adotada para a produção das argamassas.
O procedimento de mistura das argamassas foi padronizado conforme norma NBR 16541 (ABNT, 2016), seguindo os seguintes passos:
- Mistura na argamassadeira por 60 segundos dos materiais empregados na pesquisa;
- O equipamento é desligado para que seja feita a raspagem da cuba com o auxílio de uma espátula;
- Mistura lenta para homogeneização por mais 60 segundos.

2.2 Métodos

As argamassas foram analisadas quanto à densidade e o teor de ar incorporado através da norma NBR 13278 (ABNT, 2005). Além disso, foram evidenciadas quanto ao índice de consistência, conforme estabelecido pela norma NBR 13276 (ABNT, 2005) e em relação ao comportamento reológico pelo método *squeeze-flow*, conforme a norma NBR 15839 (ABNT, 2010). No ensaio de *squeeze-flow*, conforme mostrado na Figura 3, as argamassas produzidas foram submetidas a uma especificação de carga, em velocidade constante de 0,1 mm/s. O ensaio foi concluído quando a posição da punção atingiu 9 mm ou quando a carga máxima atingiu 1 kN, e os resultados foram apresentados em um gráfico contendo a curva de tensão versus deformação. O ensaio de *squeeze-flow* foi realizado com 15, 30 e 45 minutos após o início da mistura.

Figura 3 – Ensaio de *Squeeze-flow*



Fonte: os autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização do ensaio *flow-table* para determinar o índice de consistência das argamassas produzidas, foi possível obter as conclusões conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Resultado do índice de consistência das argamassas

Séries	IC Médio (mm)	Desvio Padrão (mm)	C.V (%)
REF 0%	261	4,04	1,6
CINZA 10%	245	2,52	1,0
CINZA 15%	236	5,29	2,2

Fonte: os autores.

É possível observar que a presença da cinza substituindo parcialmente o cimento em 10% e 15% reduziram o índice de consistência em 5,76% e 9,61%, respectivamente, em relação às argamassas de referência. A argamassa de referência atingiu a exigência de sua consistência estar na faixa de 260 ± 10 mm, já as argamassas com cinza de madeira não atingiram a consistência recomendada por norma.

A redução da consistência pode ser atribuída à natureza hidrofílica da cinza de madeira, que absorve água da mistura, principalmente pelo seu tamanho de partícula, diminuindo a quantidade de água disponível para a hidratação do cimento e, consequentemente, afetando a trabalhabilidade e a homogeneidade da argamassa. Esse efeito não apenas dificulta a aplicação do material, mas também pode comprometer a resistência e a durabilidade da argamassa final, uma vez que a hidratação inadequada do cimento é um fator crítico para o desenvolvimento das propriedades mecânicas e de durabilidade.

Os resultados de densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas produzidas são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Resultados para densidade de massa nas argamassas.

Séries	Média Densidade de Massa (g/cm³)	Dev. Padrão Densidade de Massa (g/cm³)	C.V Densidade de Massa (g/cm³)
REF 0%	1,86	0,012	0,6
CINZA 10%	1,87	0,003	0,2
CINZA 15%	1,85	0,002	0,1

Fonte: os autores

Tabela 4 – Resultados para teor de ar incorporado nas argamassas.

Séries	Média Teor de ar Incorporado (%)	Dev. Padrão Teor de ar Incorporado (%)	C.V Teor de ar Incorporado (g/cm³)
REF 0%	11,9	0,6	4,7
CINZA 10%	11,3	0,3	2,4
CINZA 15%	12,2	0,1	0,9

Fonte: os autores.

Baseado nos resultados obtidos, identificou-se que a substituição do cimento pela cinza de madeira nas argamassas não influenciou na densidade de massa e no teor de ar incorporado. Em relação a trabalhabilidade esse impacto é positivo, uma vez que, dessa forma, não haverá aumento da densidade e isso facilitará o processo de lançamento da argamassa.

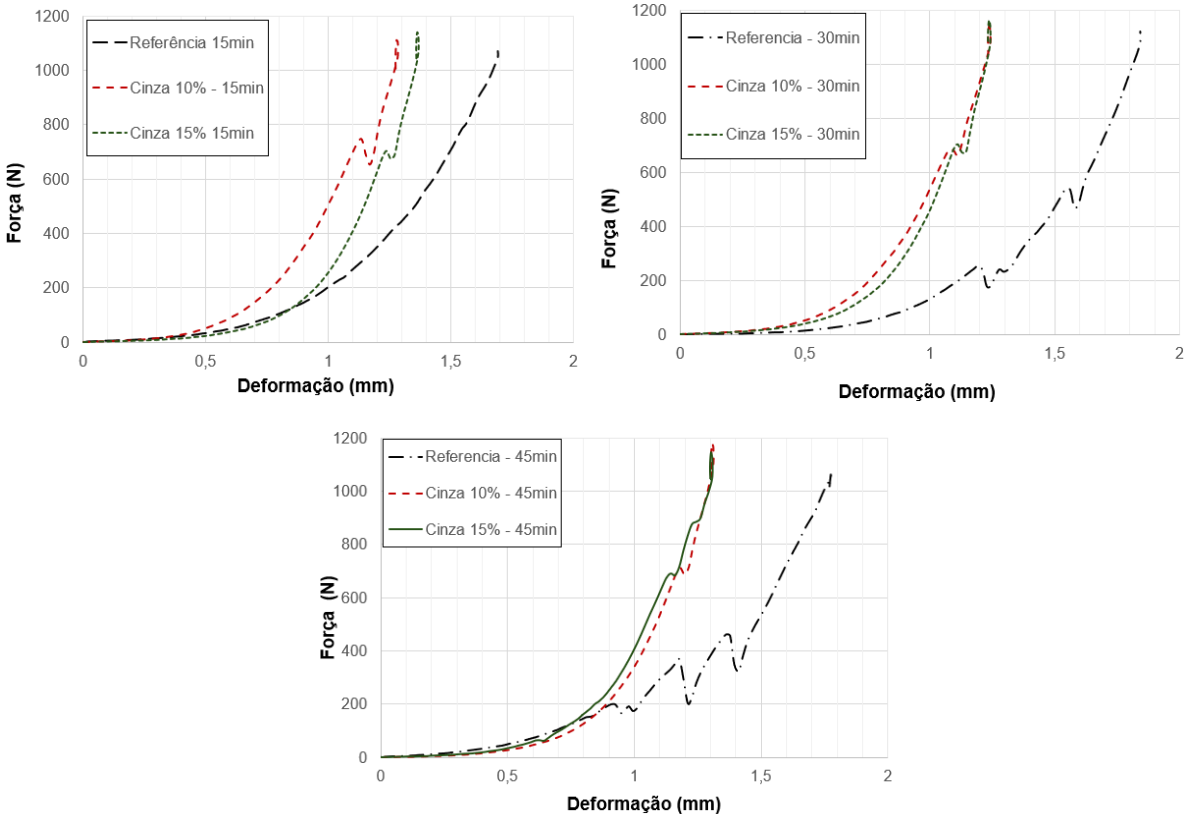
Além disso, as argamassas foram classificadas como classe DF3, pois todas obtiveram uma densidade de massa entre 1800 e 2000 kg/m³, de acordo com a NBR 13281 (ABNT, 2023). Essa classificação indica que as argamassas possuem uma densidade dentro da faixa específica para uso em revestimentos de paredes de tetos, garantindo um desempenho adequado em termos de aderência, resistência e durabilidade, conforme os requisitos normativos estabelecidos para essa categoria de argamassas.

A caracterização reológica das argamassas com substituição parcial do cimento pela cinza foi avaliada a partir do método de *Squeeze-Flow*, os resultados dos ensaios para diferentes teores de substituição do cimento em relação ao tempo após a mistura em 15, 30 e 45 minutos podem ser observado através da Figura 4.

Foi possível verificar que a transição para o estágio de enrijecimento por deformação ocorreu com um deslocamento de 1,5 mm para a amostra de referência. As argamassas produzidas com cinza de madeira tiveram seus deslocamentos reduzidos em 1,0 mm. Com base nos resultados obtidos foi possível avaliar que as cinzas de madeira proporcionaram uma redução da plasticidade das argamassas, o que sugere que a presença das cinzas influencia negativamente na capacidade da argamassa de acomodar pequenas movimentações ou deformações da estrutura, potencialmente aumentando o risco de fissurações em condições de uso.

Em 30 minutos de mistura, foi possível observar o mesmo comportamento que em 15 minutos de mistura, onde as cinzas de madeira proporcionaram uma redução da plasticidade das argamassas nos dois tempos de mistura.

Figura 4 – Resultado de *Squeeze-flow* das argamassas produzidas



Fonte: os autores.

Ao analisar a influência do tempo de utilização de 45 minutos fica evidente que as argamassas com cinza de madeira também proporcionaram um deslocamento menor quando comparadas a referência, onde o mesmo ocorreu em 15 e 30 minutos de mistura sendo menor que 1,5mm, ou seja, comportamento caracterizado pelo enrijecimento por deformação. Esse comportamento consistente indica que a incorporação das cinzas de madeira na mistura afeta a trabalhabilidade do material de maneira similar, independentemente do tempo de mistura. A redução da plasticidade, portanto, está relacionada intrinsecamente ao uso das porcentagens de cinza, que influencia a retenção de água e a coesão da mistura e ao tempo de processamento das argamassas.

4. CONCLUSÕES

O objetivo desta pesquisa foi avaliar a incorporação de cinza de madeira em um traço de argamassa de revestimento, em seu estado fresco. As argamassas produzidas foram caracterizadas e as seguintes conclusões podem ser destacadas:

- Em relação ao ensaio de consistência, foi possível concluir que a substituição parcial do cimento por cinza de madeira em 10% e 15% resultaram na redução do espalhamento das argamassas. Esse efeito pode ser atribuído a natureza hidrofílica da cinza de madeira, que compromete a trabalhabilidade e hidratação do cimento;

- Argamassas produzidas com cinzas de madeira não influenciaram nos resultados de densidade de massa e teor de ar incorporado, mantendo esses parâmetros dentro de faixas esperadas;
- Com relação ao comportamento reológico determinado por meio do ensaio de *Squeeze-flow*, as argamassas produzidas com cinzas de madeira apresentaram um menor deslocamento em comparação com a argamassa de referência, o que caracteriza menor plasticidade. Assim, pode-se concluir que o resíduo proveniente de cinza de madeira, pode afetar negativamente a trabalhabilidade das argamassas.
- De maneira geral, este estudo evidenciou que as cinzas de madeira tiveram impacto nas argamassas produzidas no estado fresco, onde foi possível identificar que as formulações empregadas nessa pesquisa proporcionaram uma redução significativa na trabalhabilidade das argamassas.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 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, ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13529: **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15839: **Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método *squeeze-flow* –elaboração**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16514: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16697: **Cimento Portland – Requisitos – elaboração**. Rio de Janeiro, 2018.

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

ALTHOEY, F.; ANSARI, W. S.; SUFIAN, M.; DEIFALLA, A. F. Advancements in low-carbon concrete as a construction material for a the sustainable buit environment. **Developments in the Built Environment**, v. 16, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100284

BONEN, D.; SARKAR L. The superplasticizer adsorption capacity of cementpastes, pore solution composition, and parameters affecting flow loss. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 7, p. 1423-1434, 1995. Disponível em: https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00137-2

BORGES, D.; VALVERDE, D.; BIANCHI, G.; AKASAKI, J. L.; TRENTIN, T. F. S. Uso de cinza de madeira de eucalipto em compostos cimentícios, uma alternativa sustentável. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 5, n. 11, 2017.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILLEGI, R. G. Rheological behaviour of mortars under different squeezing rates. Cement and Concrete Research, v. 39, p. 748-753, 2009. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.05.014

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. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HADDAD, L.D.O., NEVES, R.R., OLIVEIRA, P.V., *et al*., "Influence of particle shape and size distribution on coating mortar properties", **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 4, pp. 9299–9314, 2020. Disponível em: http://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.06.068.

MILLER, S. A.; JOHN, V.; PACCA, S. A.; HORVATH, A. Carbon dioxide reduction potential in the global cement industry by 2050. **Cement and Concrete Research**, v. 114, p. 115-124, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.026

NDAHIRWA, D.; ZMAMOU, H.; LENORMAND, H.; CHENOT, E.; POTEL, S.; LEBLANC, N. Wood ash-based binders for lightweight building materials: Evaluating the influence of hydraulic lime and cement on the setting and mechanical properties of wood ash pastes. **Results in Engineering**, v. 24, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102738