

Novo material pozolânico a partir da argila calcinada e folha de bambu

Daniel Ukuessunga Benjamim
Jorge Luís Akasaki
Mauro Mitsuuchi Tashima

Como citar: BENJAMIM, Daniel Ukuessunga; AKASAKI, Jorge Luís; TASHIMA, Mauro Mitsuuchi. Novo material pozolânico a partir da argila calcinada e folha de bambu. *In:* VALENTIM, Marta Lígia Pomim; CASTRO, Rosane Michelli de; DANIEL, Niembo Maria; MANUEL, Damião de Almeida (org.).

Construindo ciência em cooperação internacional

acadêmico-científica: Brasil e Angola. Marília: Oficina Universitária; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2025. p.311-325. DOI:

<https://doi.org/10.36311/2025.978-65-5954-570-4.p311-325>



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

NOVO MATERIAL POZOLÂNICO A PARTIR DA ARGILA CALCINADA E FOLHA DE BAMBU

Daniel Ukuessunga Benjamim

Jorge Luís Akasaki

Mauro Mitsuuchi Tashima

1 INTRODUÇÃO

De muitas lições absorvidas com a situação da pandemia Covid-19, é que estamos todos no mesmo barco, ou seja, qualquer coisa que afeta um país, afeta a todos. Logo, a preservação ambiental é uma tarefa conjuntural e, cumprir os 17 objetivos estabelecidos pelas Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável devem ser o objetivo de todos (Figura 1).

Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo de contribuir ao desenvolvimento sustentável por meio do uso de materiais alternativos de construção que tenham um reduzido impacto ambiental quando comparados com os materiais convencionais.

Figura 1: Agenda 2030 das Nações Unidas - Desenvolvimento Sustentável



Fonte Imagem: <https://www.comciencia.br/tag/ods/> (2022).

Com o crescimento populacional, as necessidades primárias do homem, nomeadamente a habitação, tornam-se cada vez mais gradativas. Fato este que leva a indústria da construção civil a desafiar-se dia após dia para responder a demanda.

O cimento é o maior produto manufaturado da terra em produção massiva (Scrivener; John; Gartner, 2018a). É o segundo produto mais usado no mundo, ficando atrás da água, esses dois materiais compõem uma proporção substancial no ambiente construtivo (Scrivener; John; Gartner, 2018a).

Atualmente, o consumo do cimento Portland é de cerca de 4,6 bilhões de toneladas por ano, estima-se que atinja aproximadamente 6 bilhões de toneladas até o final de 2050 (Bhagath Singh; Subramaniam, 2019). O cimento Portland é composto essencialmente por clínquer, e a demanda de países em rápido e constante desenvolvimento faz com que a sua produção seja cada vez mais acelerada e com qualidade mais baixa (Bhagath Singh; Subramaniam, 2019; Scrivener; John; Gartner, 2018b).

A produção do Cimento Portland é responsável por altos níveis de emissão de dióxido de carbono na atmosfera. A produção de uma tonelada deste material, gera aproximadamente 0,8 tonelada de dióxido de carbono, no qual é responsável por cerca de 7% da emissão de dióxido de carbono global (Moraes *et al.*, 2019). Além disso, a produção do cimento Portland consome grandes quantidades de matérias primas, a qual contribui significativamente para a degradação do meio ambiente. Embora exista abundância de matéria primas, a sua exploração tem que ser criteriosa, para que no futuro não ocorra escassez dessas matérias-primas (Scrivener; John; Gartner, 2018b).

Fato relevante no processo de produção do cimento Portland, remete-se ao alto grau de consumo de energia, especialmente no que diz respeito à energia necessária para a produção do clínquer, que representa 20 - 40% do custo total da produção do cimento. São necessárias cerca de 4427MJ (Boesch; Koehler; Hellweg, 2009), para produção de uma tonelada de clínquer, dos quais oriundos da queima de 50% de carvão, 22% de resíduo pet, 1% de gás natural, 11% de resíduos industriais, 13% de combustíveis derivado de lixo, 1% de resíduos de borrachas e 2% de pneus (Boesch; Koehler; Hellweg, 2009). A Figura 2 ilustra o processo de produção do cimento Portland.

Figura 2: Processo de produção do cimento Portland



Fonte: Çankaya e Pekey (2020) adaptado pelo autor (2023).

Com base nestes pressupostos, há necessidade de desenvolver novas fontes de matérias primas a fim de obter materiais cimentícios ambientalmente mais ecológicos e economicamente mais viáveis e sustentáveis. Neste sentido, a substituição parcial de clínquer por materiais pozolânicos (em porcentagens de até 40%, em massa) é uma alternativa. Os materiais pozolânicos, são materiais silicosos e ou aluminosos, que por si só possuem pouca ou nenhuma propriedade cimentícia, mas, quando finalmente moído, no estado amorfo na presença de água ou umidade, reagem quimicamente com hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formam compostos com propriedades cimentícias.

As cinzas vulcânicas, argila calcinadas, cinzas de casca de arroz, cinza do bagaço de cana-de-açúcar, cinza volante e sílica ativa são algumas pozolânas comumente utilizadas (Sabir; Wild; Bai, 2001; Vafaei; Allahverdi, 2016). A Figura 3 ilustra a folha de cana-de-açúcar, material que quando calcinado em condições adequadas pode ser utilizado como pozolâna.

Neste sentido, diversos estudos podem ser encontrados na literatura utilizando diferentes técnicas instrumentais (DSC, MEV, DRX, FTIR, TGA) e ensaios mecânicos para a caracterização dos materiais pozolânicos (Dwividi *et al.*, 2006; Moraes, 2019; Sabir; Wild; Bai, 2001; Singh *et al.*, 2007; Vicentini, 2018; Villar-Cociña *et al.*, 2011).

Figura 3: Imagem da folha de cana-de-açúcar “deixada” no campo durante o processo de colheita da cana-de-açúcar



Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

Outro material pozolânico bastante empregado na construção civil é a argila calcinada. Neste caso, o material deve ser calcinado a temperaturas entre 600-750 °C de modo que se obtenha um material amorfo (Sabir; Wild; Bai, 2001). Neste caso, o metacaulim (MK) é a argila calcinada mais conhecida. Entretanto, este material apresenta o inconveniente de que necessita de um processo controlado de produção.

Levando em consideração o uso de materiais alternativos, o presente estudo mostra a possibilidade de produzir argilas calcinadas juntamente com biomassa por meio de um processo de produção não controlada. Para a caracterização do material obtido foram realizados ensaios de difração de raios – X, índice de consistência e resistência a compressão de argamassas para as idades de 3, 7, 28 e 90 dias de cura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland CPV ARI, para a produção de argamassas e pastas de cimento. Trata-se de um cimento com 95% de clínquer, com pouco teor de adição para evitar interferências de outras adições quanto a análise da atividade pozolânica. O mesmo apresenta uma área específica de 4800 cm²/g (método Blaine), e granulometria de 0,05% retido na peneira de 75 µm e 0,58 % retido na peneira de 45 µm NBR 16697 (ABNT, 2018). Na Tabela 1 abaixo mostra a composição química do cimento utilizado.

Foi utilizada a Cinza da folha de bambu e argila calcinada (CFBA), que é um material ligante proveniente da mistura da folha de bambu e argila, cuja o processo de obtenção deste material está descrito no item 2.1.

Tabela 1: Caracterização química do Cimento Portland V ARI

CPV-ARI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Outros
	18,16	7,01	2,57	62,95	0,7	3,11	0,77	0,18	4,55

Fonte: Elaboração própria (2022).

2.1 OBTENÇÃO DA CINZA DE FOLHA DE BAMBU E ARGILA CALCINADA (CFBA)

O processo de obtenção da cinza da folha de bambu e argila calcinada, parte do princípio de produção de blocos sólidos combustíveis, feitos em processos manuais que consiste em: a) coleta da folha de bambu como mostra a **Figura 4**, a qual foram coletadas de uma plantação de bambu nos arredores da cidade de Ilha Solteira, SP, Brasil, posterior moagem para tornar o material mais fino e homogêneo. b) moagem da argila, proveniente de uma cerâmica na cidade de Pereira Barreto, SP, Brasil, pois esta chega em barras geometricamente prismáticas como mostra a **Figura 5**, e a moagem é realizada para obter-se a granulometria desejada para o processo de homogeneização. c) início do processo de homogeneização, que é feito em um recipiente. Inicialmente coloca-se a palha da folha de bambu, seguidamente a água para tornar a mistura compacta, e então é misturado manualmente até que visivelmente seja percebido que a água foi aderida pela palha de bambu. Em seguida é adicionada a argila, é novamente misturado manualmente até aparência homogênea. Tão logo a mistura estiver homogênea, é retirada do recipiente para a prensa de solo cimento, onde são confeccionados os blocos sólidos combustíveis, depois são retirados e expostos a secagem como mostra a **Figura 6**.

Figura 4: Coleta de matéria prima (folha de bambu)



Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

Figura 5: Argila em formato de barras prismática vindo da cerâmica



Fonte Imagem: Elaboração própria (2022)

Figura 6: Secagem dos blocos sólidos combustíveis



Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

O processo de calcinação dos blocos combustíveis, consistiu em agrupar os blocos no forno desenvolvido por (Tashima, 2006) em 5 camadas constituintes por 12 blocos totalizando assim 60 blocos. O processo é induzido com uma chama (isqueiro), adicionado gás de cozinha num intervalo de tempo de até 5 minutos para acelerar a pega da chama e posteriormente dá-se sequência com a autocombustão dos blocos que eleva até a sua máxima temperatura e baixa naturalmente até cessar, originando

a cinza da folha de bambu e argila (CFBA). Logo em seguida a CFBA é peneirada para retirada de impurezas e material não calcinado, em seguida é moída para obtenção da granulometria desejada.

Foi realizado uma análise de difração de raios – X da CFBA para verificar o seu caráter amorfo e, conseqüentemente, seu potencial como material pozolânico.

2.2 INFLUÊNCIA DA CFBA EM ARGAMASSAS

Produziu-se argamassas com substituição parcial do cimento Portland por CFBA em massa nas proporções de: 0% CFBA (controle), 10% CFBA, 20% CFBA, 30% CFBA, 40% CFBA e 50% CFBA respectivamente, no traço 1: 3 (aglomerante: agregado miúdo), e a relação a/c = 0,5. Foi utilizado 0,1% de aditivo superplastificante em relação à massa do cimento apenas para os traços com 30% CFBA, 40% CFBA e 50% CFBA de substituição. Com a finalidade de verificar a influência da CFBA nas propriedades em estado fresco e endurecido de argamassas, foi analisado o índice de consistência das argamassas e a resistência a compressão de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005) para as idades de 3, 7, 28 e 90 dias de cura para corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm. A Tabela 2 mostra a dosagem dos traços de argamassas analisados.

Tabela 2: Dosagem das argamassas analisadas

Argamassa	Cimento (g)	CFBA (g)	Areia (g)	Água (g)	Aditivo (g)
Controle	1765	0	5295	0,884	0
10 % CFBA	1588,5	176,5	5295	0,884	0
20 % CFBA	1412	353	5295	0,884	0
30 % CFBA	1235,5	529,5	5295	0,884	1,765
40 % CFBA	1059	706	5295	0,884	1,765
50 % CFBA	882,5	882,5	5295	0,884	1,765

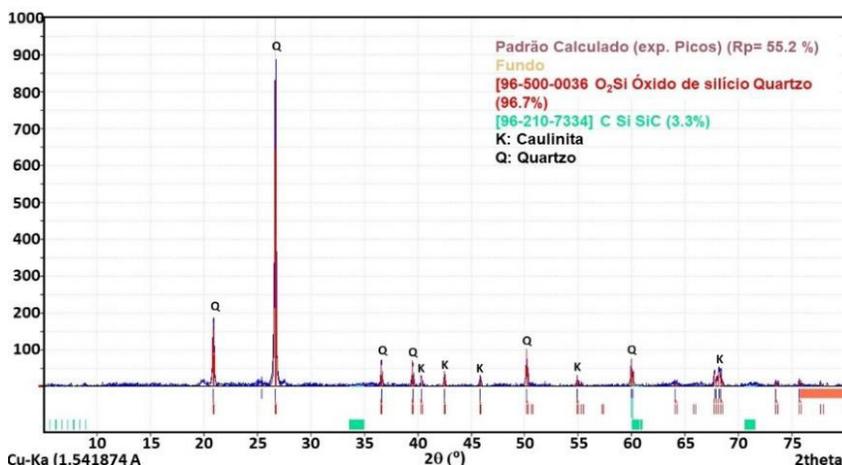
Fonte: Elaboração própria (2022).

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CFBA

O Gráfico 1 mostra o difratograma de raios – X da CFBA. Observa-se a presença de picos, característicos da presença de fases cristalinas no material. Foram identificadas a presença de quartzo (SiO_2) e de caulinita. A presença de caulinita é indicativo de que parte da argila não foi ativada no processo de combustão realizado. A presença de quartzo pode ser devido a contaminação da folha de bambu com solo da região (solo arenoso) ou mesmo devido a presença de impurezas na argila.

Gráfico 1: Difratograma de raios - X da CFBA



Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

3.2 ENSAIO DE ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

A Figura 7 ilustra o diâmetro de espalhamento obtido no ensaio de índice de consistência. À medida que se aumento o teor de CFBA, o diâmetro de espalhamento se reduz. Esse comportamento deve-se ao fato de que a CFBA apresenta uma finura elevada e consequentemente, demandam uma maior quantidade de água.

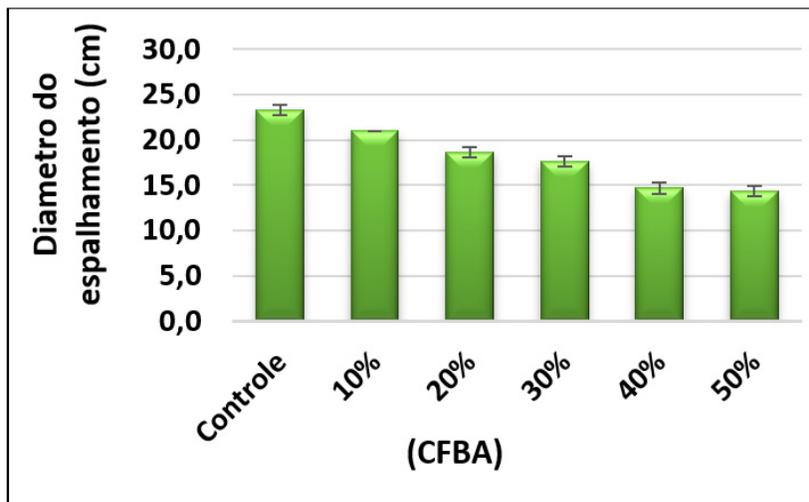
Figura 7: Ensaio de índice de consistência



Fonte Imagem: Elaboração própria (2022).

O Gráfico 2 mostra os valores de índice de consistência obtidos para cada uma das argamassas estudadas, a) controle; b) 10% CFBA, c) 20% CFBA; d) 30% CFBA; e) 40% CFBA; e f) 50% CFBA respectivamente.

Gráfico 2: Diâmetro do espalhamento das argamassas obtido pelo Índice de consistência

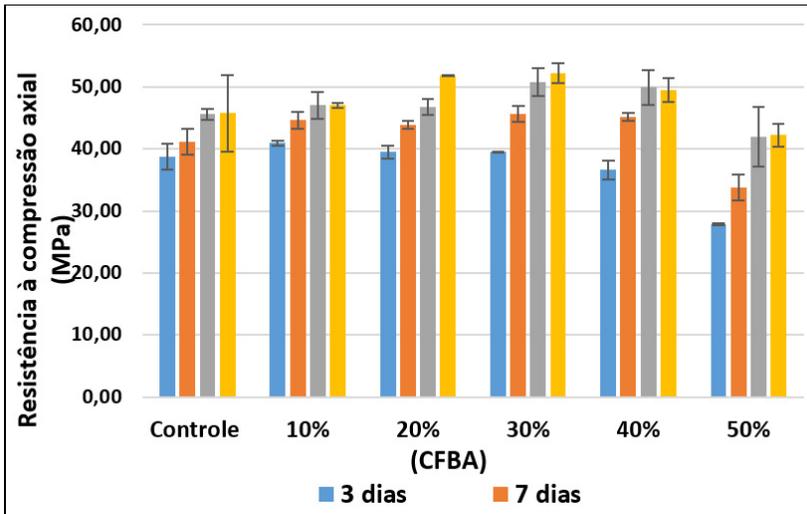


Fonte: Elaboração própria (2022).

3.3 RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS ARGAMASSAS DE CFBA E CIMENTO

Os resultados de resistência à compressão das argamassas com teores de substituição em até 50% do cimento Portland pela CFBA, são apresentados no Gráfico 3.

Gráfico 3: Resistência à compressão axial das argamassas de CFBA em substituição em até 50% do CP-V



Fonte: Elaboração própria (2022).

De acordo com os resultados apresentados no Gráfico 3, mostra-se claramente resistências mecânicas satisfatórias para todos os teores de substituição, alcançando valores de resistência similares aos apresentados pela argamassa controle para uma mesma idade de cura, apesar do traço 50% CFBA ter apresentado uma resistência menor ao traço controle, no ponto de vistas estatísticos, o ganho de resistência é satisfatório. Outra importante característica a ser observada é o incremento da resistência mecânica ao longo do tempo: normalmente os materiais pozolânicos apresentam ganhos de resistência para idades longas de cura.

4 CONCLUSÕES

Em virtude dos argumentos supracitados, conclui-se que, o programa experimental desenvolvido teve como objetivo produzir um novo aglomerante à base de biomassa e argila, onde a folha de bambu e argila cau-

linita são os precursores e desempenham simultaneamente complementos pozolânicos e combustível para o processo de calcinação.

A proporção da folha de bambu e argila para produção dos blocos combustíveis, proporcionaram melhor calcinação dos materiais. O ensaio de DRX aferiu a natureza amorfa da CFBA, ao apresentar desvio na linha base entre 15^o e 30^o, que ainda indicou presença de quartzo e caulinita.

Durante o processo de confecção das argamassas, o teor de substituição do CPO pela CFBA gerou menor trabalhabilidade, deste modo se usou superplastificante para melhorar a fluidez da argamassa.

Foi verificado um aumento satisfatório de resistência à compressão axial para todos os níveis de substituição, embora o traço 50% CFBA apresentar-se menor ao traço controle, isso mostrou que a alta reatividade do material proporcionou melhor comportamento mecânico e durabilidade das matrizes.

5 AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer ao Instituto Nacional de Gestão de Bolsa de Estudo de Angola (INAGBE), pelo apoio financeiro, à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), especificamente a Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira / Departamento de Engenharia Civil, ao Grupo de Pesquisa ‘Materiais Alternativos de Construção’ (MAC) pelo suporte técnico durante a realização do trabalho.

Gostaríamos de agradecer também ao Convênio Capes/Print-Unesp Edital PROPG 92/2019 - Redes de Pesquisa Internacionais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT 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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *ABNT NBR 16697* - Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

- BHAGATH SINGH, G. V. P.; SUBRAMANIAM, K. V. L. Production and characterization of low-energy Portland composite cement from post-industrial waste. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v.239, p.118024, 2019.
- BOESCH, M. E.; KOEHLER, A.; HELLWEG, S. Model for cradle-to-gate life cycle assessment of clinker production. *Environmental Science and Technology*, Dordrecht, v.43, n.19, p.7578-7583, 2009.
- ÇANKAYA, S.; PEKEY, B. Application of scenario analysis for assessing the environmental impacts of thermal energy substitution and electrical energy efficiency in clinker production by life cycle approach. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v.270, p.122388, 2020.
- DWIVEDI, V. N. *et al.* A new pozzolanic material for cement industry: Bamboo leaf ash. *International Journal of Physical Sciences*, Sapele, v.1, n.3, p.106-111, 2006.
- MORAES, M. J. B. DE. *Estudo do potencial da cinza de folha de bambu para sua utilização como material pozolânico e sustentável em matrizes cimentantes*. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Ilha Solteira, 2019.
- MORAES, M. J. B. *et al.* Production of bamboo leaf ash by auto-combustion for pozzolanic and sustainable use in cementitious matrices. *Construction and Building Materials*, Amsterdam, v.208, p.369-380, 2019.
- SABIR, B.; WILD, S.; BAI, J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*, Oxford, v.23, n.6, p.441-454, 2001.
- 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*, Oxford, v.114, p.2-26, June 2018a.
- 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*, Oxford, v.114, p.2-26, Mar. 2018b.
- SINGH, N. B. *et al.* Hydration of bamboo leaf ash blended Portland cement. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, New Delhi, v.14, n.1, p.69-76, 2007.
- TASHIMA, M. *Cinza de casca de arroz altamente reativa: método de produção, caracterização físico-química e comportamento em matrizes de cimento Portland*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Ilha Solteira, 2006.
- VAFAEI, M.; ALLAHVERDI, A. Influence of calcium aluminate cement on geopolymerization of natural pozzolan. *Construction and Building Materials*, Amsterdam, v.114, p.290-296, 2016.

VICENTINI, A. H. *Caracterização de um novo aglomerante originado da combustão da mistura de argila e biomassa*. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), Ilha Solteira, 2018.

VILLAR-COCIÑA, E. *et al.* Pozzolanic behavior of bamboo leaf ash: Characterization and determination of the kinetic parameters. *Cement and Concrete Composites*, Oxford, v.33, n.1, p.68-73, 2011.