ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE BAMBU NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Gabriel Freire da Silva[1], Diego José Araújo Viégas[2], Auanny Alícia Alves da Silva[3]; Lídia Pereira Amaro[4]; Chrysttyan Thalles Ribeiro Félix[5];, Valter Ferreira de Sousa Neto[6] , Fabiana Xavier Costa[7] Ana Maria Gonçalves Duarte[8]

[1]Graduandoem Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil (gabriel.freire@estudante.ufcg.edu.br)
[2] Doutorando em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco(UPE), Recife, Brasil
[3]Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil
[4]Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil
[5]Mestrando em Engenharia Civil e Ambiental Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil
[6] Doutor em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil
[7]Doutora em Recursos Humanos, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil

[8]Professora PhD da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil

Resumo: Este trabalho avalia o desempenho mecânico de um concreto reforçado com fibras naturais (RFN), utilizando 2% de fibras de bambu (*Bambusa vulgaris*) em relação à massa de cimento. A pesquisa comparou um concreto de referência (REF) ao reforçado (CRFB), utilizando traço 1:2:3 e relação a/c de 0,58. Foram realizados ensaios de compressão simples (RCS) e tração por compressão diametral (RTCD) aos 3, 7 e 28 dias. Os resultados aos 28 dias indicaram uma redução de 21,7% na RCS, justificada pelo aumento da porosidade na zona de transição interfacial devido à natureza higroscópica das fibras não tratadas. Em contrapartida, houve um ganho expressivo de 31,8% na RTCD, comprovando a eficácia do mecanismo de prevenção por meio do aumento da ductilidade do concreto. Conclui-se que, apesar da queda na compressão, o CRFB possui viabilidade técnica para elementos de vedação e mobiliário urbano, consolidando-se como um biomaterial ecoeficiente e sustentável para a construção civil.

Palavras-chave: *concreto reforçado com fibras; desempenho mecânico; sustentabilidade.*

INTRODUÇÃO

O concreto é considerado o material de construção mais utilizado em escala global, fruto das suas características intrínsecas como compósito cimentício, tal como desempenho mecânico, durabilidade e versatilidade (Chin *et al*., 2024). Todavia, de acordo com Kumar *et al*. (2025), a cadeia produtiva do setor da construção civil impõe desafios críticos quanto à sustentabilidade, especialmente no que tange o elevado consumo de recursos naturais e às emissões globais de 7% a 8% de CO_2. Além disso, apesar das múltiplas vantagens, o concreto convencional apresenta limitações físicas como capacidade de deformação limitada, baixa resistência à tração e maior suscetibilidade à formação de fissuras nos elementos estruturais, permitindo a entrada de agentes agressivos que culminam em

manifestações patológicas e na redução da vida útil do sistema (Abdalla; Thomas; Hawileh, 2022; Ahmad; Zhou; Deifalla, 2023; Kumar *et al*., 2025; Li *et al*., 2024).

Nesse contexto, o reforço com fibras naturais (RFN) emergiu como uma solução técnica promissora na década de 1960, a fim de promover a mitigação desses gargalhos com a união entre ecoeficiência e incremento de propriedades mecânicas no concreto. Atualmente, as fibras naturais recebem atenção considerável como alternativas sustentáveis às fibras sintéticas – os chamados "biomateriais" –, principalmente por baixo custo energético, baixo peso, ampla disponibilidade e elevada resistência a depender da matéria-prima vegetal (Ahmad; Zhou; Deifalla, 2023; Gao *et al*., 2022).

Entre os recursos disponíveis, o bambu possui mais de 1300 espécies encontradas em todo o planeta, exceto no continente europeu e na Antártida. Com um crescimento nitidamente mais acelerado do que outras plantas, ele atinge a maturidade completa em apenas 3 a 4 anos. Devido a rápida expansão industrial com foco no uso do material, a cada ano, são geradas entre 160.000 e 170.000 toneladas de resíduos de bambu que, tradicionalmente, seriam descartados em aterros ou utilizadas para produção de energia de biomasssa através da queima (Chin *et al*., 2024; Fahim *et al*., 2022; Tong *et al*., 2025). Logo, o reaproveitamento do recurso forneceria um fim mais nobre e sustentável a esses subprodutos, inserindo-os na lógica da economia circular. Ao transformar o que seria descartado em um reforço estrutural, converte-se um passivo ambiental em um biomaterial.

Com uma resistência à tração de até 600 MPa, as fibras de bambu incorporadas promovem um reforço por meio do efeito de ponte, chamado de *bridging effect* ou *crack-bridging*, o qual se trata de um mecanismo que restringe a abertura das fissuras, transfere tensões através da matriz e aumenta significativamente a ductilidade do concreto. Do ponto de vista estrutural, essas fibras possuem uma configuração lignocelulósica, composta por camadas finas e espessas alternadas, o que resulta em uma elevada rigidez específica que atua, de forma análoga, a microarmaduras dispersas (Ahmad; Zhou; Deifalla, 2023; Gao *et al*., 2022). Contudo, a compatibilidade entre a fibra e a matriz cimentícia é um ponto sensível, uma vez que variações de porosidade e trabalhabilidade podem impactar na aderência e, consequentemente, na resistência final.

Este trabalho propõe uma análise experimental do desempenho mecânico de um concreto reforçado com a adição de 2% de fibras de bambu. Através de ensaios normatizados de Resistência à Compressão Simples (RCS) e Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD), busca-se quantificar e validar tecnicamente o uso deste material como RFN para o controle de fissuração e melhoria do desempenho estrutural do concreto convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa seguiu um delineamento experimental de caráter comparativo, analisando as propriedades de um concreto de referência (REF) e um concreto reforçado com fibras de bambu (CRFB) no teor de adição de 2% em relação à massa de cimento.

2.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados para a confecção do CRFB estão listados a seguir e ilustrados na Figura 1:

- Fibras de bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, coletadas no município de Areia/PB;
- Cimento Portland CP II-Z-32, obtido na fábrica Polimix Concreto;
- Areia quartzosa, proveniente do Rio Paraíba;

- Brita n° 0 (pedrisco), obtida no comércio local;
- Água fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

Figura 1 – Escopo de materiais para a produção do concreto reforçado:
(a) Fibra de bambu; (b) Cimento; (c) Areia (agregado miúdo); (d) Brita (agregado graúdo).



(a) (b) (c)

Fonte: os autores.

As propriedades físicas dos materiais utilizados foram determinadas seguindo as normas técnicas vigentes e estão consolidadas no Quadro 1. Estes parâmetros foram fundamentais para o cálculo da dosagem e garantia da repetibilidade do traço proposto.

Quadro 1 – Parâmetros de caracterização dos materiais utilizados.
.Fonte: os autores.

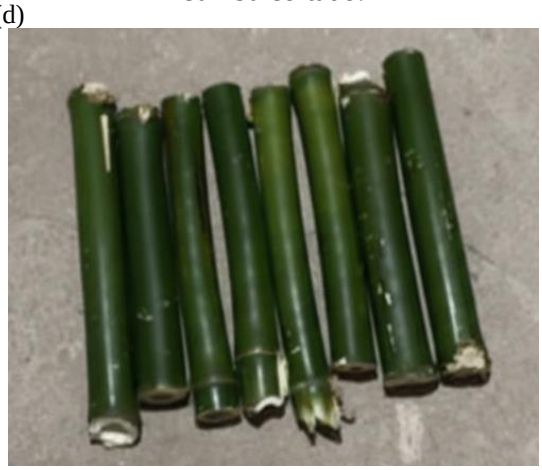
Material	Propriedade física	Valor obtido	Normativa vigente
Fibras de bambu	Massa específica	1,25 g/cm³	ABNT 16828-2/2020
	Teor de umidade	3,00 %	
Cimento (CP II-Z)	Massa específica	2,95 g/cm³	NBR 16605/2017
	Finura	2,35 %	NBR 11579/2012
Areia	Massa específica	2,63 g/cm³	NBR 16916/2021
	Massa unitária	1,52 g/cm³	NBR 16972/2021
Brita	Massa específica	2,82 g/cm³	NBR 16917/2021
	Massa unitária	1,44 g/cm³	NBR 16972/2021
	Absorção	0,30 %	NBR 16917/2021

2.2 Preparação das fibras de bambu

A coleta de bambu foi realizada com uso de uma serra manual. Em seguida, os colmos mais maduros foram selecionados sob orientação técnica, cortados em pedaços e transportados para o Laboratório ais de Construção da Universidade e Campina Grande (UFCG). Os s foram separados e expostos ao ar nte 24 horas (Figura 2), visando a umidade a fim de prevenir a ão de mofo no material vegetal.

– Colmos de tamanho mediano do bambu cortado.

(d)



Fonte: os autores.

Após esse período, os colmos foram cortados em pedaços menores e mantidos em imersão total em água por 48 horas (Figura 3a). Esse processo de imersão é justificado para a facilitação do desfibramento e remoção de

extrativos (açúcares e amidos) que poderiam inibir ou retardar a pega do cimento conforme Ahmad, Zhou e Deifalla (2023). Quando foram retirados da água, os colmos foram desfibrados manualmente com uma serra manual, uma faca simples e um porrete de madeira (Figura 3b), resultando em fibras de comprimento médio de 50 mm.

Figura 3 – Procedimento experimental de: (a) imersão dos colmos; (b) desfibramento.



(a) (b)

Fonte: os autores.

2.3 Dosagem, moldagem e cura dos corpos de prova (CPs) de concreto

A etapa de dosagem do concreto foi fundamentada no método da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), visando a obtenção de uma resistência característica à compressão (f_{ck}) de 15 MPa aos 28 dias. Adotou-se o traço em massa na proporção 1 : 2 : 3 (cimento : areia : brita), com uma relação água/cimento (a/c) fixada em 0,58. O concreto reforçado (CRFB) recebeu a incorporação de 2% de fibras de bambu (*Bambusa vulgaris*) com comprimento médio de 50 mm, calculados em relação à massa de cimento.

A produção da mistura foi realizada em uma betoneira de eixo inclinado, seguindo uma ordem de introdução para mitigar o fenômeno de aglomeração das fibras. Inicialmente, procedeu-se à mistura dos agregados com o cimento, seguida pela adição gradativa da água de amassamento. As fibras foram introduzidas manualmente durante a última etapa da mistura sob agitação contínua, garantindo a homogeneidade da dispersão na matriz cimentícia. A consistência foi monitorada pelo ensaio de abatimento do tronco de cone (*slump test*), conforme a NBR 16889/2020, obtendo valores reduzidos (20-30 mm), o que evidencia a elevada coesão interna e a possível influência higroscópica do material vegetal inserido.

A moldagem dos CPs cilíndricos (10 x 20 cm) seguiu as prescrições da NBR 5738/2016, com o adensamento executado de forma manual, dividido em três camadas sucessivas submetidas a 25 golpes de haste metálica cada. Após o período inicial de 24 horas em condições de laboratório, as amostras foram desformadas e submetidas ao processo de cura por imersão total em água. Este procedimento foi mantido ininterruptamente até as idades de ensaio programadas (3, 7 e 28 dias).

A análise da massa específica dos corpos de prova revelou que a incorporação de fibras de bambu altera significativamente a densidade da matriz cimentícia. Enquanto o concreto de referência (REF) apresentou uma massa média de 3628 g, o traço com adição de 2% de fibras (CRFB) registrou uma redução para 3432 g. Essa diminuição na densidade é um reflexo direto da substituição volumétrica de materiais mais densos por fibras vegetais, que possuem baixa massa específica (1,25 g/cm³), o que pode proporcionar elementos estruturais mais leves e/ou um provável aumento na porosidade do concreto.

2.4 Ensaios de caracterização mecânica

A avaliação do desempenho do concreto no estado endurecido concentrou-se na determinação das propriedades de resistência mecânica, fundamentais para verificar a eficiência do reforço fibroso. Os ensaios foram realizados nas idades de 3, 7 e 28 dias, utilizando uma prensa hidráulica universal devidamente calibrada.

A determinação da Resistência à Compressão Simples (RCS) seguiu rigorosamente as diretrizes da NBR 5739/2018. Antes do ensaio, as bases dos corpos de prova foram preparadas via retificação mecânica para assegurar a planicidade e a distribuição uniforme das tensões durante o carregamento. A carga foi aplicada de forma contínua a uma taxa de 0,45 ± 0,15 MPa/s até a ruptura, conforme visto na Figura 4, permitindo observar não apenas a tensão máxima suportada, mas também o modo de falha da matriz reforçada com fibras.

Figura 4 – Corpo de prova submetido à compressão na prensa hidráulica.



Fonte: os autores.

A força obtida é inserida como parâmetro de entrada na Equação 1 para obter a resistência suportada pelo CP, conforme a normativa.

$$f_c = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot D^2} \qquad (1)$$

Onde:
F = força máxima alcançada (N);
f_c = resistência à compressão (MPa);
D = diâmetro do corpo de prova (mm).

A fim de garantir a confiabilidade estatística dos resultados, todos os ensaios foram realizados em triplicata para cada idade e traço analisado. Quanto à nomenclatura das misturas, REF designa o concreto de referência (sem adição), enquanto CRFB identifica o concreto reforçado com fibras de bambu no teor de 2%.

A organização do programa experimental, detalhando a distribuição dos corpos de prova e a cronologia das rupturas para as propriedades de compressão e tração, encontra-se sistematizada no Quadro 2.

Quadro 2 – Ensaios realizados e quantificações de CPs.

Ensaios	Tipo	n° CPs		
		3 dias	7 dias	28 dias
RCS	REF	3	3	3
	CRFB	3	3	3
RTCD	REF	3	3	3
	CRFB	3	3	3

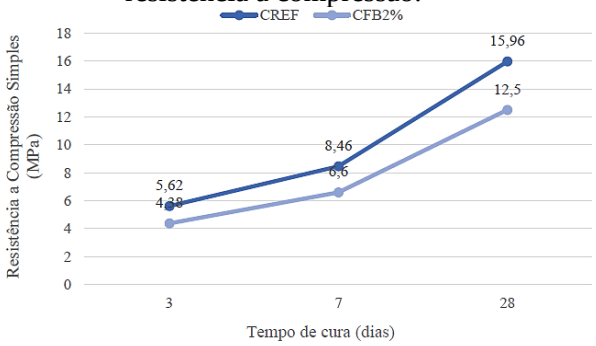
Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaio de Resistência à Compressão Simples (RCS)

Os ensaios de resistência à compressão axial demonstraram que a incorporação de fibras de bambu resultou em uma redução sistemática da capacidade resistente em todas as idades analisadas, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Comparativo de comportamento da resistência à compressão.



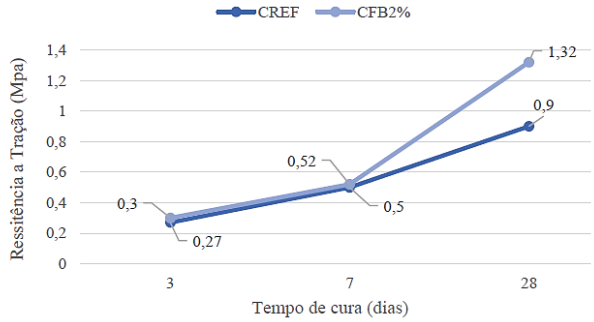
Fonte: os autores.

Aos 3 dias, o CRFB apresentou uma redução de 22,06% e, aos 7 dias, os valores sofreram uma queda de 22%. Na idade de controle de 28 dias, a resistência do CRFB atingiu 12,5 MPa, representando uma diminuição de 21,7% em relação aos 15,96 MPa obtidos pelo concreto de referência. Essa redução pode ser atribuída ao aumento da porosidade da matriz e à dificuldade de compactação decorrente da presença física das fibras, que comprometem a homogeneidade da zona de transição.

3.2 Ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral (RTCD)

Diferentemente do comportamento observado na compressão, a adição de fibras de bambu promoveu um ganho significativo na resistência à tração por compressão diametral.

Figura 7 – Comparativo de comportamento da resistência à tração.



Fonte: os autores.

Aos 3 dias, registrou-se um aumento de 10% e, aos 7 dias, um incremento de 4%. Por fim, aos 28 dias, o desempenho do concreto reforçado foi notavelmente superior, alcançando 1,32 MPa, o que equivale a um aumento de 31,8% em comparação aos 0,90 MPa da mistura de referência.

Consequentemente, é notável que o resultado evidencia a eficácia das fibras de bambu em atuar como reforço natural, servindo como pontes de transferência de tensões que restringem a abertura e a propagação de fissuras.

3.3 Análise dos resultados experimentais na interface fibra-matriz

Embora a redução na RCS observada nos resultados experimentais tenha sido atribuída à porosidade e às dificuldades de adensamento, a literatura científica internacional demonstra que a qualidade da interface entre a fibra natural e a matriz de cimento é o fator determinante para o desempenho mecânico do compósito, comprovados pelos estudos de Fahim *et al*. (2022). No presente estudo, as fibras de bambu foram incorporadas sem tratamentos químicos prévios, o que possibilita ter ocorrido a preservação de componentes superficiais como ceras, pectinas e óleos naturais, mesmo com a secagem ao ar livre.

A presença dessas substâncias na superfície da fibra atua como uma barreira hidrofóbica que impede a interação dos grupos hidroxila da celulose com a pasta de cimento, resultando em uma incompatibilidade química e baixa aderência mecânica. Sem a aplicação de um tratamento alcalino, como o banho de hidróxido de sódio (NaOH), não ocorre a remoção total dessas impurezas nem a exposição das microfibrilas de celulose, o que impede o ancoramento mecânico eficiente.

Microscopicamente, essa falta de tratamento poderia ser analisado, a fim de comprovar o impacto na formação da Zona de Transição Interfacial (ZTI) que, provavelmente, estaria mais frágil ao redor da fibra. Em concretos reforçados com fibras não tratadas, a ZTI é caracterizada por uma alta concentração de vazios e microfissuras perimetrais, conforme evidenciado em análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de estudos similares, onde fibras não tratadas apresentam “gaps” nítidos entre sua superfície e o gel C-S-H da matriz.

Além disso, a natureza higroscópica das fibras de bambu não tratadas agrava esse quadro. Durante a mistura, as fibras absorvem parte da água de amassamento, criando uma região com maior relação água/cimento ao redor da fibra. Após a hidratação, essa água acumulada na interface evapora ou é consumida, deixando para trás uma estrutura localmente mais porosa e menos densa. Essa ZTI debilitada funciona como um ponto de fragilidade estrutural: sob carregamento de compressão, a interface falha prematuramente, impedindo a

transferência eficiente de tensões e justificando a queda sistemática de 21,7% na resistência à compressão observada aos 28 dias.

Mesmo diante dos desafios microestruturais na Zona de Transição Interfacial (ITZ) e da alta porosidade, o aumento na resistência à tração (RT) ocorre porque o mecanismo de reforço das fibras de bambu é ativado justamente após o início da fissuração da matriz cimentícia. A relação de aspecto comprimento/diâmetro das fibras e o seu ancoramento mecânico na matriz garantem que elas ofereçam resistência física antes de serem extraídas, o que exige uma maior quantidade de energia e, logo, se traduz em maior tenacidade quando submetido ao esforço de tração. Isso justifica o ganho de quase 32% observado.

Na compressão, a fibra atua como um vazio que descontinua a matriz densa, reduzindo a área de suporte de carga e gerando concentração de tensões. Já na tração, a fibra assume o papel de elemento estrutural primário, promovendo um tipo de "costura" dentro da matriz e transformando o comportamento do material de frágil para dúctil.

CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou que a incorporação de 2% de fibras de bambu atua de forma distinta nas propriedades mecânicas do concreto. Enquanto houve uma redução sistemática na resistência à compressão simples (RCS) da ordem de 21,7% aos 28 dias, verificou-se um ganho expressivo de 31,8% na resistência à tração (RT) por compressão diametral na mesma idade.

A queda na compressão é atribuída ao aumento da porosidade e à dificuldade de compactação da matriz cimentícia na presença das fibras naturais. Contudo, ressalta-se que o valor de 12,5 MPa alcançado pelo CRFB, embora inferior ao traço de referência, ainda confere ao material potencial para aplicações em elementos de vedação, mobiliário urbano ou componentes de pavimentação que não exijam fins estruturais severos. O expressivo ganho na tração valida a eficácia das fibras de bambu como reforço, funcionando por meio do *bridging effect*, que restringe a propagação de fissuras e eleva a ductilidade do compósito.

Do ponto de vista ambiental, o uso da *Bambusa vulgaris* é confirmado como uma alternativa ecoeficiente, reduzindo a pegada de carbono da construção civil ao utilizar um recurso renovável de rápido crescimento e baixo custo. Embora existam desafios microestruturais na ZTI, a capacidade física das fibras não é anulada. Com a devida otimização através de tratamentos alcalinos (NaOH) e ajuste de teores, é possível mitigar a porosidade interfacial e potencializar o uso deste biomaterial na engenharia moderna.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua gratidão à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo suporte institucional e pela infraestrutura acadêmica que possibilitaram a realização desta pesquisa.

Agradecemos ao Departamento de Engenharia Civil da UFCG e, de forma especial, aos técnicos e pesquisadores do Laboratório de Materiais de Construção pelo auxílio fundamental na condução dos ensaios de resistência à compressão e tração.

Estendemos os agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com o fornecimento das fibras de bambu e com o suporte técnico necessário para a viabilização deste estudo, reforçando o compromisso com a inovação e a sustentabilidade na construção civil.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, J. A.; THOMAS, B. S.; HAWILEH, R. A. Use of hemp, kenaf and bamboo natural fiber in cement-based concrete. **Materials Today: Proceedings**, v. 65, p. 2070–2072, 2022.

AHMAD, J.; ZHOU, Z.; DEIFALLA, A. F. Structural Properties of Concrete Reinforced with Bamboo Fibers: a Review. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 24, 11 mar. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.03.038. Acesso em 22 fev. 2026.

CHIN, S. C. *et al*. Predictive models for mechanical properties of hybrid fibres reinforced concrete containing bamboo and basalt fibres. **Structures**, v. 61, e106093, 1 mar. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106093. Acesso em 2 fev. 2026.

FAHIM, M. *et al*. Bamboo as a Construction Material: Prospects and Challenges. **Advances in Sciences and Technology**, v. 16, n. 3, p. 165–175, 1 jul. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.12913/22998624/149737. Acesso em 18 fev. 2026.

GAO, X. *et al*. Structural and mechanical properties of bamboo fiber bundle and fiber/bundle reinforced composites: a review. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 19, p. 1162–1190, 1 jul. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.05.077. Acesso em 30 jan. 2026.