CAPÍTULO 46 · Parte II · Materiais
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/0et09x08
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/dca2mx12

PAINÉIS DE VEDAÇÃO FEITOS DE BAMBU: Ensaios de durabilidade dos bambus inseridos em matriz cimentícia

Anelizabete A. Teixeira Pazini[1]*; Enio José Pazini Figueiredo[2]; Jaime Gonçalves de Almeida[3]
*Autor de contato: anelizabete@gmail.com
[1] NUPMAT/UEG, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, Brasil; PPGEC, Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO, Brasil
[2] PPGEC, Universidade Federal de Catalão, Catalão, GO, Brasil; Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil
[3] CPAB/UnB, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil

RESUMO

Esta pesquisa busca avaliar o bambu como material de construção, aplicado na forma de painéis pré-fabricados, mineralizados e revestidos com argamassa nas faces externa e interna, visando o seu emprego em habitações econômicas. O principal objetivo foi desenvolver um painel de vedação, sustentável e de baixo custo, capaz de substituir vedações tradicionais como a cerâmica, madeira e o concreto e de contribuir com a problemática ambiental na indústria da construção civil. A metodologia adotada parte de uma revisão da literatura sobre os bambus e baseia-se na realização de avaliações de desempenho e de durabilidade dos painéis por meio de ensaios físicos de umidade e densidade e de ensaios mecânicos de resistência à compressão, flexão e aderência da argamassa de revestimento, em painéis de bambus nos estados *in natura*, envelhecidos de forma natural e envelhecidos de forma acelerada. Por meio da metodologia adotada foi possível comprovar a eficácia e a possibilidade de uso do bambu em painéis argamassados para vedação vertical de habitações económicas, principal problemática investigada na pesquisa.

Palavras-Chave: Bambu; Painéis de vedação; Durabilidade.

ABSTRACT

This research aims to evaluate bamboo as a construction material—specifically in the form of prefabricated, mineralized panels coated with mortar on both their exterior and interior faces—for use in low-cost housing. The primary objective was to develop a sustainable, low-cost wall panel capable of replacing traditional walling materials (such as ceramic, wood, and concrete) and addressing environmental issues within the construction industry. The methodology began with a literature review on bamboo and involved performance and durability assessments. These assessments utilized physical tests (moisture and density) and mechanical tests (compressive strength, flexural strength, and mortar-coating bond strength) on bamboo panels in three conditions: "in natura", naturally aged, and artificially aged. The study successfully demonstrated the effectiveness and viability of using bamboo in mortar-coated panels for the vertical walls of low-cost housing, thereby addressing the central issue investigated in the research.

Keywords: *Bamboo; Wall panels; Durability.*

1. INTRODUÇÃO

O tema escolhido para esta pesquisa parte da necessidade de se inserir, na indústria da construção civil, o uso de um material sustentável como o bambu, afim de comprovar a eficácia dessa matéria-prima natural, tropical e que pode ser durável, caso seja tratada, na substituição ou complementação de materiais construtivos convencionais de alto impacto ambiental, conferindo segurança e qualidade às edificações. Diante do exposto, justifica-se a realização de estudos científicos relacionados à produção pré-fabricada de componentes construtivos em bambu, bem como às suas propriedades físico-mecânicas e construtivas, fundamentais para comprovar seu potencial tecnológico e construtivo no atual panorama da construção civil brasileira. Considera-se o momento oportuno em que a indústria da construção civil abre espaço para novos materiais, em busca de construções mais sustentáveis. O bambu, por sua vez, surge como um excelente material capaz de contribuir para a redução do uso da cerâmica, madeira e concreto, em painéis de vedação.

Um dos principais objetivos deste estudo foi propor um painel de vedação vertical para habitações econômicas, pré-fabricado e revestido de argamassa, que utiliza como estrutura interna uma matriz vegetal e natural. Colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldoides* foram utilizados como estrutura interna de painéis argamassados, desempenhando uma função importante no componente construtivo proposto. Buscou-se substituir as matrizes cerâmicas, de madeira e cimentícias, geralmente utilizadas como base de sistemas de vedação vertical, por uma matriz feita de bambu, com a intenção de promover o uso de materiais de baixo impacto ambiental, de forma sistematizada, em habitações econômicas.

Neste artigo, apresenta-se, inicialmente, o projeto arquitetônico dos painéis de bambu, bem como o processo tecnológico e construtivo de sua produção. Os painéis de bambu foram submetidos a processos de envelhecimento, tanto natural quanto acelerado, os quais possibilitaram a avaliação do desempenho, da durabilidade e da vida útil destes painéis. Foram realizados ensaios físicos de densidade, bem como ensaios mecânicos de resistência à compressão, flexão e aderência da argamassa de revestimento. Por meio da metodologia adotada, foi possível simular o envelhecimento natural por meio do envelhecimento acelerado, permitindo estimar a vida útil dos painéis de bambu inseridos em matriz cimentícia em relação à resistência de aderência da argamassa de revestimento. Vale ressaltar que trata-se de um trabalho do campo da Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, que visa contribuir para a avaliação da durabilidade de um sistema construtivo feito com bambu, apresentado de forma inédita no contexto da Patologia das Construções.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A importância ambiental do bambu e seu uso no brasil

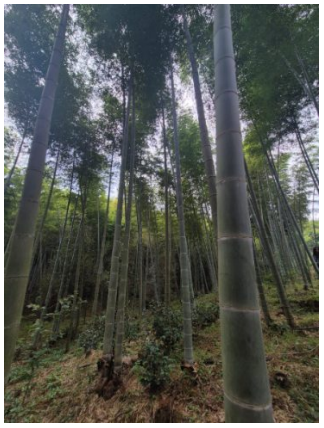
Historicamente o bambu tem acompanhado o homem desde a pré-história e seu uso está presente na cultura de praticamente todos os povos primitivos, de todos os continentes. Com o crescente desmatamento e o aumento da pressão exercida sobre as florestas tropicais, bem como sobre as áreas de reflorestamento, torna-se cada vez mais necessária a busca por materiais renováveis e por soluções alternativas capazes de atenuar esse processo predatório. Lee *et al* (1994) comentam que, com o decréscimo da quantidade e qualidade dos recursos florestais, tem aumentado o interesse pela busca de materiais renováveis e de baixo custo, como é o caso dos bambus. Atualmente,

estima-se que esta planta contribua para a subsistência, geração de renda ou moradia de mais de um 2,2 bilhões de pessoas, em todo o mundo (TEIXEIRA e MARÇAL, 2025).

De acordo com Jaramillo (1992), o bambu é uma planta tropical, perene e renovável, que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio (Figura 1). Seus colmos se renovam em menor intervalo de tempo, não havendo nenhuma outra espécie florestal que possa competir em velocidade de crescimento e de aproveitamento por área, apresentando-se como uma planta de grande potencial agrícola. Além de ser eficiente seqüestrador de carbono, os bambus podem ser utilizados em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares e como um protetor e regenerador ambiental. Os bambus são também reconhecidos por ser uma importante alternativa energética, devido ao volume excepcional de biomassa produzida, tanto quanto a madeira. Pode ser aproveitado tanto na queima direta como na produção de carvão, inclusive carvão ativado.

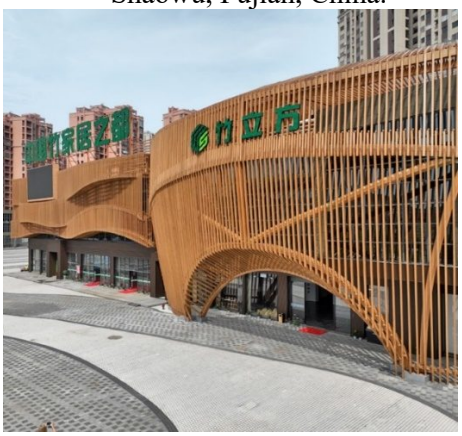
Esta planta apresenta excelentes características físicas, químicas, mecânicas e construtivas, o que a torna um material de construção de grande qualidade e versatilidade. Devido à sua grande flexibilidade, o bambu é muito utilizado em regiões sujeitas a abalos sísmicos, principalmente na Ásia e América Latina. Em especial na Ásia, e em alguns países como a Colômbia, Costa Rica, Brasil e Equador, o bambu é muito utilizado na construção de edificações, que vão desde uma simples habitação econômica até edifícios de vários pavimentos. Tem-se como um importante exemplar deste tipo de edificação o "Bamboo Cubic Green", construído em Shaowu, Fujian, China, construção premiada mundialmente pelo French Design Award e o American Muse Design Award 2023, com 16,86 metros de altura e uma fachada envolta em uma estrutura única de bambu engenheirado, a mais alta do mundo, como mostra a Figura 2. Estruturas de bambu como estas, são capazes de demonstrar o imenso potencial do bambu em inovação e tecnologia, na área da arquitetura e da construção civil.

Figura 1 -Bambus na região de Fujian, China.



Fonte: Arquivo do autor, 2025.

Figura 2 - Edificação "Bamboo Cubic Green", em Shaowu, Fujian, China.



Fonte: Arquivo do autor, 2025.

O Brasil detém uma das maiores reservas de bambu nativo do mundo, estimadas em 9,6 milhões de hectares, sendo cerca de 80% em áreas nativas (EMBRAPA, 2024). Essa base confere posição estratégica ao país, mas o potencial econômico e ambiental permanece subaproveitado (INBAR, 2024a; 2024b). Na Amazônia Ocidental, destacam-se extensas formações do gênero *Guadua*, especialmente no Acre e Amazonas. No Acre, o Zoneamento Ecológico-Econômico indica ocorrência de bambu em 70% do território e classifica 10% como "Florestas Abertas com Bambu Dominante", o que corresponde a 161.500 km². Essas formações prestam serviços ecossistêmicos

relevantes, incluindo sequestro aproximado de 1,5 t CO_2/ha/ano, estabilização de solos e suporte à fauna (ICMBio, 2023; EMBRAPA, 2024; INBAR, 2024b).

A normalização para uso do bambu na construção civil, no Brasil, avançou com a ABNT NBR 16828-1 e 16828-2 (2020), que padronizam o uso estrutural do bambu, fortalecendo a confiabilidade para mercado e compras públicas (INBAR, 2024a; 2024b). Esse marco abre espaço para elementos estruturais, painéis de bambu laminado colado (BLB/GLB) e soluções urbanas vinculadas a cidades verdes (DRUMOND; WIEDMAN, 2017), como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Parada de ônibus, feita de bambu laminado colado, instalada na UnB/Brasília/DF.



Fonte: Arquivo do autor, 2023.

Pode-se enumerar uma série de exemplos representativos de aplicações de bambu no Brasil, com bases técnicas e políticas associadas, como segue:

A) Habitação modular em *Guadua* de aproximadamente 60 m², baixo custo relativo, com diretrizes de projeto e mão de obra local, realizada pela EMBRAPA Amazônia Ocidental e UnB. Projeto em aderência com habitação social e infraestrutura leve, metas de baixo carbono e ODS (INBAR, 2024a).

B) Elementos estruturais e painéis laminados (BLB/GLB) para coberturas e mobiliário urbano; orientação por normas ABNT e boas práticas, favorecendo PPPs e especificação técnica em obras públicas (INBAR, 2024a; DRUMOND; WIEDMAN, 2017), ilustrado pela Figura 3.

C) Pellets de biomassa de bambu para uso térmico industrial, substituindo lenha/eucalipto em cerâmicas e agroindústrias, integráveis a metas de descarbonização (INBAR, 2024a; EMBRAPA, 2023).

D) Bioembalagens biodegradáveis e biocompósitos (fibras de bambu em matrizes poliméricas) para bens duráveis; requerem transferência tecnológica e linhas de crédito para moldes e extrusão (EMBRAPA, 2024; INBAR, 2024a).

E) Extratos e bioativos com propriedades antibacterianas (rota para cosméticos e saneamento), sujeitos a validação regulatória e repartição de benefícios 15 (literatura técnica acadêmica citada nos anexos internos; DRUMOND; WIEDMAN, 2017).

F) Fitorremediação com Bambusa vulgaris em áreas degradadas, conectando restauração produtiva e possíveis mecanismos de PSA/ARR (INBAR, 2024a; 2024b).

G) Alimentação (broto de bambu) com potencial de cadeias curtas e nichos gastronômicos, mediante BPF e inspeção sanitária (DRUMOND; WIEDMAN, 2017), dentre outras aplicações.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Seleção dos bambus utilizados para a confecção dos painéis

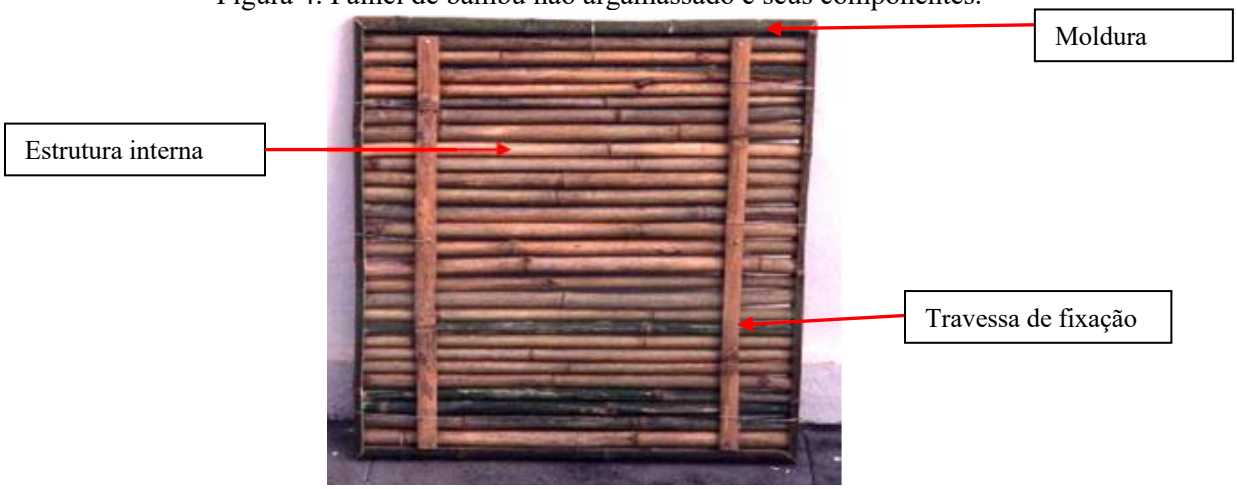
Amostras dos bambus da espécie *Bambusa tuldoides*, alvo principal da presente pesquisa, utilizadas na estrutura interna dos painéis (Figura 4), foram destinadas à caracterização de umidade, densidade, resistência à compressão paralela às fibras (sem nós e com nós) e resistência à flexão paralela às fibras (sem nós e com nós).

Os colmos de bambu das espécies escolhidas foram selecionados diretamente na touceira. Apenas bambus maduros, com mais de três anos de idade, foram cortados. As partes medianas do colmo foram selecionadas e as partes basal e superior foram descartadas. Outro aspecto relevante no momento da seleção do colmo foi a padronização dos diâmetros, buscando-se cortar colmos com diâmetros aproximadamente iguais, especialmente da espécie *Bambusa tuldoides*, empregado na estrutura interna do painel.

3.2. Produção dos painéis de bambu (envelhecimento natural)

Durante a pesquisa de Mestrado de Teixeira (2006), diversos painéis de bambu foram produzidos, o que permitiu o desenvolvimento de avaliações posteriores e ensaios investigativos sobre a durabilidade do bambu e dos painéis. Foram produzidos seis painéis de bambu, com dimensões de 1,00 m x 1,00 m x 0,06 m, confeccionados com bambus das espécies *Bambusa tuldoides* (na estrutura interna), *Phyllostachys bambusoides* (nas molduras) e *Dendrocalamus giganteus* (nas travessas verticais para travamento do painel). A Figura 4 mostra o painel sem argamassa de revestimento, com a identificação dos elementos de bambu que compõem o painel.

Figura 4: Painel de bambu não argamassado e seus componentes.



Fonte: Teixeira, 2013.

A mineralização foi o procedimento de tratamento realizado logo após o término da montagem das estruturas de bambu, a qual consiste na preparação de uma solução de silicato de sódio. Esta solução, quando aplicada às fibras vegetais, ajuda a eliminar o efeito da absorção de água pelos bambus. Após a mineralização das estruturas de bambu, elas foram revestidas com uma argamassa de traço 1:3:0,1 (cimento Portland CP II-F: areia artificial: adesivo acrílico), como chapisco.

Após a aplicação e secagem do chapisco, a argamassa de acabamento/revestimento foi dosada e aplicada cuidadosamente para garantir boa aderência aos painéis de bambu. A argamassa de revestimento, com traço de 1:0,5:4 (cimento Portland CP II-F: cal hidratada: areia de rio), foi preparada em betoneira e aplicada nos painéis. A partir dessa proporção, obteve-se uma argamassa de consistência firme, pronta para ser aplicada nas estruturas de bambu. A espessura da argamassa

deve ser suficiente para cobrir toda a estrutura de bambu do painel, deixando apenas as molduras de bambu expostas, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Painel de bambu argamassado, após a secagem da argamassa de revestimento (a); Detalhe do painel de bambu com as molduras aparentes (b).



(a) Fonte: Teixeira, 2006. (b)

O processo de envelhecimento natural ocorreu por meio da exposição dos painéis de bambu às intempéries durante um período de seis anos, caracterizando um teste de longo prazo. Estes painéis foram utilizados para a caracterização mecânica dos bambus após o envelhecimento natural e para a avaliação da aderência das argamassas de revestimento, na condição de "envelhecimento natural".

3.3. Produção dos painéis de bambu (envelhecimento acelerado)

Os painéis apresentados neste Item, foram desenvolvidos exclusivamente para possibilitar a realização dos ensaios de envelhecimento acelerado em painéis de bambu argamassados. A produção destes painéis se deu a partir de bambus da espécie *Bambusa tuldoides* como material construtivo da estrutura interna dos painéis e da espécie *Dendrocalamus giganteus* escolhida para a confecção das molduras. Fez-se necessária a produção de seis painéis de bambu, com dimensões de 0,60m x 0,60m x 0,06m. De acordo com a Figura 6, pode-se compreender o processo de produção destes painéis, que seguiu as seguintes etapas: Montagem dos painéis (a), processo de mineralização (b), aplicação de chapisco (c) e aplicação da argamassa de revestimento nas duas faces do painel (d). A composição e traço do chapisco e da argamassa de revestimento foram as mesmas empregadas nos painéis destinados ao envelhecimento natural (Item 3.2).

Figura 6: Processo de produção dos painéis de bambu para envelhecimento acelerado.



(a) (b)




(c) Fonte: Teixeira, 2013. (d)

Somente após a secagem da argamassa de revestimento os seis painéis foram submetidos ao processo de envelhecimento acelerado, passando por ciclo de molhagens e secagens em estufa, em ambiente laboratorial e seguindo normas técnicas, como mostra a Figura 7.

O processo de envelhecimento acelerado dos painéis ocorreu por meio de seis ciclos de umedecimento e secagem, caracterizando um teste de curto prazo. A secagem foi feita em um forno com temperatura de (71 ± 2) ˚C. O tempo de umedecimento em cada ciclo foi de 24 horas e o tempo de secagem em cada ciclo foi de 48 horas. Após a realização deste procedimento, foi possível fazer considerações sobre o desempenho, a durabilidade e a previsão da vida útil dos painéis de bambu, por meio de ensaios densidade, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à flexão perpendicular às fibras e aderência da argamassa de revestimento sobre a estrutura interna de bambu.

Figura 7: Painéis de bambu prontos para o processo de envelhecimento acelerado.



Fonte: Teixeira, 2013.

3.4. Avaliações relativas à durabilidade

Toda a pesquisa foi baseada em avaliações experimentais, com base em ensaios padronizados e procedimentos laboratoriais. No entanto, alguns procedimentos experimentais foram adaptados às particularidades da espécie de bambu utilizada e às condições tecnológicas dos laboratórios. A avaliação da durabilidade dos painéis de bambu foi realizada comparando os resultados obtidos nas seguintes condições:

A) Painéis **não envelhecidos** (*in natura*) feitos com colmos de bambu;

B) Painéis **envelhecidos naturalmente** feitos com bambus mineralizados, expostos às intempéries (sol, vento, chuva e poluição), por um período de 6 (seis) anos;

C) Painéis de bambu com argamassa, submetidos a processo de **envelhecimento acelerado**, de acordo com os procedimentos da NBR 13554 (ABNT, 1996), e bambus mineralizados extraídos desses painéis.

A metodologia proposta visa investigar a durabilidade de bambus da espécie *Bambusa tuldoides,* mediante a comparação dos resultados de densidade, resistência à compressão paralela às fibras e resistência à flexão perpendicular às fibras, de amostras de bambu *in natura*, de amostras retiradas de painéis envelhecidos naturalmente e de amostras retiradas de painéis envelhecidos aceleradamente. A avaliação da durabilidade dos painéis foi feita a partir dos resultados de resistência de aderência da argamassa de revestimento sobre a estrutura interna dos bambus, apoiando-se nos resultados de durabilidade dos bambus embutidos nos painéis.

Para a realização dos ensaios de **densidade** foram preparados 24 corpos de prova, a partir da parte mediana de colmos de bambus maduros e secos ao ar, sendo 12 (doze) corpos de prova sem nós e 12 (doze) com nós. Os colmos foram serrados em serra elétrica e o comprimento dos corpos de prova foi dado pela equivalência (aproximada) ao diâmetro da peça, de acordo a NBR 7190 (ABNT, 1997). A densidade é uma característica importante para o projeto de estruturas de bambu, pois tem relação direta com o peso das peças e com as respectivas cargas atuantes nas estruturas. Neste ensaio buscou-se conhecer a densidade do bambu natural, saturado e seco em estufa, como ilustra parcialmente a Figura 8.

Figura 8: Ensaios de densidade dos bambus.



Fonte: Teixeira, 2013.

Para os ensaios de **resistência à compressão paralela às fibras** foram preparados vinte e quatro (24) corpos-de-prova, feitos da parte mediana de colmos *in natura* de bambus da espécie *Bambusa tuldoides*, sendo que 12 (doze) corpos de prova tinham os nós e outros 12 (doze) corpos de prova não os continham (Figura 9). Quanto ao comprimento dos corpos de prova, este foi dado pela medida de duas vezes o diâmetro (h= Ø x 2), de acordo o Item B.5 da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Figura 9 - Ensaios de resistência à compressão



Fonte: Arquivo do autor, 2013.

Com relação à **resistência à flexão perpendicular às fibras** foram preparados vinte e quatro (24) corpos de prova retirados da parte mediana dos colmos, sendo que 12 (doze) tinham nó no local da aplicação da carga, e os outros 12 (doze) não continham nó no local de aplicação da carga. Quanto

ao comprimento das peças, adotou-se a medida de 88 centímetros de comprimento, com base nas diretrizes da NBR 7190 (ABNT,1997), Item B.14, que prevê que o comprimento deve ser 23 vezes a medida do diâmetro do corpo de prova. A Figura 10 demonstra o procedimento dos ensaios laboratoriais.

Figura 10 - Ensaios de resistência à tração



Fonte: Arquivo do autor, 2013.

Os ensaios de **resistência de aderência à tração da argamassa**, preconizados pela NBR 13.528 (ABNT, 1995), foram realizados nos seis painéis de bambus envelhecidos de forma natural (Dissertação de Mestrado de Teixeira, 2006) e nos seis painéis de bambu envelhecidos de forma acelerada (Tese de Doutorado de Teixeira, 2013), a fim de obter os resultados da tensão média de ruptura da argamassa e da forma de ruptura. De acordo com os procedimentos do ensaio, foram coladas pastilhas metálicas com adesivo estrutural epoxídico de média fluidez, nos painéis envelhecidos de forma natural e acelerada. As pastilhas foram dispostas em apenas uma das faces do painel e após o período de 24 horas para secagem do adesivo, iniciou-se o ensaio de resistência de aderência à tração, com o uso do equipamento DYNA PROCEQ – pull-of tester Z-16. A Figura 11 ilustra um dos painéis com as pastilhas coladas, preparado para a realização do ensaio.

Figura 11 - Ensaios aderência à tração da argamassa de revestimento dos painéis de bambu.



Fonte: Arquivo do autor, 2013.

A seguir, serão apresentados alguns resultados dos ensaios realizados nas condições A, B e C, conforme citado no início deste Item 3.4, bem como os resultados de desempenho e vida útil de bambus inseridos em painéis de argamassa após envelhecimento natural e acelerado. Através de análises comparativas e estatísticas, foi possível desenvolver uma discussão sobre o desempenho de painéis de bambu com argamassa e sobre a estimativa da vida útil deste componente construtivo. Os bambus foram avaliados com base nos resultados de densidade, de compressão paralela às fibras, flexão perpendicular às fibras e aderência à tração da argamassa de revestimento.

4. RESULTADOS

O Quadro 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios realizados nos Bambus *in natura*, Bambus envelhecidos naturalmente e Bambus envelhecidos aceleradamente, sem nós e com nós.

Quadro 1: Resumo dos resultados dos ensaios de durabilidade dos bambus.

AVALIAÇÕES DE DURABILIDADE	CONDIÇÃO DOS BAMBUS					
	in natura		envelhecidos naturalmente		envelhecidos aceleradamente	
	Sem nó	Com nó	Sem nó	Com nó	Sem nó	Com nó
Densidade (g/cm³)	0,93	0,85	0,62	0,60	0,96	0,74
σ n-1 (desvio padrão da amostra) (g/cm³)	0,190	0,089	0,13	0,20	0,28	0,13
c.v. (coeficiente de variação) (%)	19,94	8,72	20,30	31,73	28,20	16,54
Umidade (%)	6,55	6,68	5,18	5,97	4,01	6,10
σ n-1 (desvio padrão da amostra) (g/cm³)	0,77	0,36	1,39	0,97	0,86	0,79
c.v. (coeficiente de variação) (%)	11,27	5,16	25,61	15,52	20,51	12,47
Resistência à **compressão** paralela às fibras (MPa)	73,30	64,29	40,51	24,51	55,23	45,05
Resistência à **flexão** perpendicular às fibras (Mpa)	90,70	70,00	44,01	31,31	_____	_____
Resistência de **aderência** à tração da argamassa de revestimento (MPa)	Tensão ruptura média: 0,54		Tensão ruptura média: 0,40		Tensão ruptura média: 0,35	

Fonte: Teixeira, 2013.

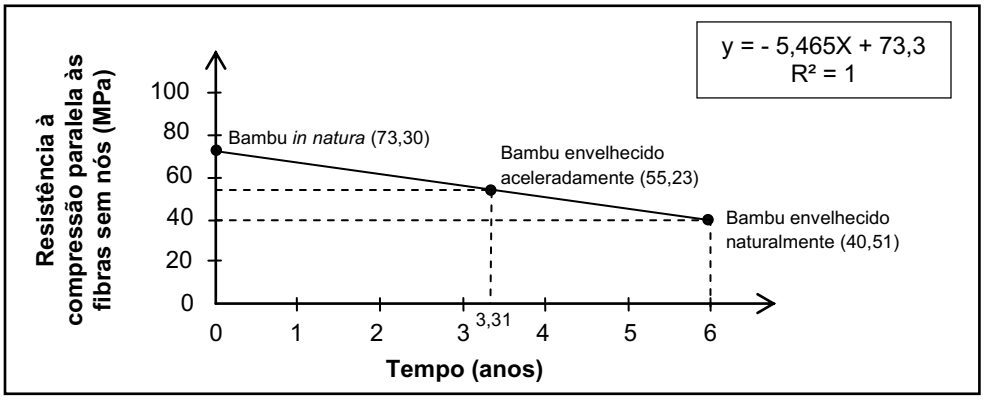
As densidades, umidades, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão paralela às fibras e a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento no **painel envelhecido naturalmente,** apresentadas no Quadro 1, são oriundas da média de resultados obtidos em 12 corpos de prova.

As densidades, umidades, resistência à compressão paralela às fibras, resistência à compressão paralela às fibras **envelhecido aceleradamente,** apresentadas no Quadro 1, são oriundas da média de resultados obtidos em 12 corpos de prova. A resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento no painel envelhecido aceleradamente é oriunda da média de 4 ensaios realizados em cada um dos 6 painéis, totalizando 24 medidas.

4.1. Compressão paralela às fibras

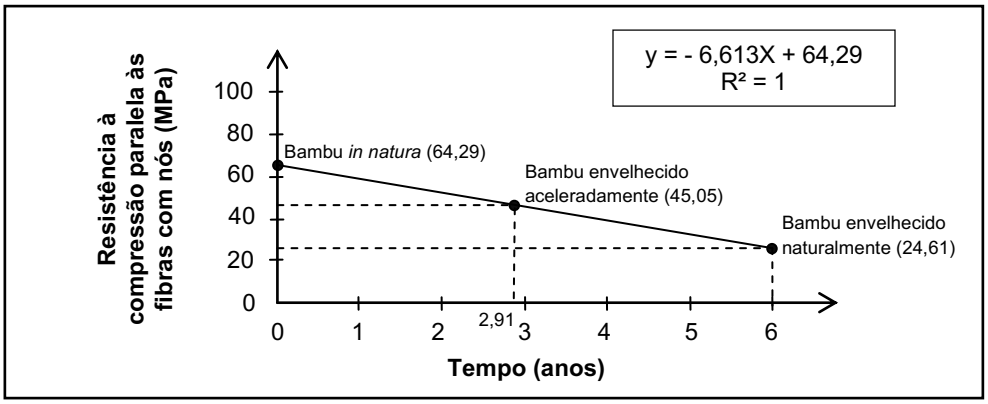
Testes de compressão paralela às fibras foram realizados em amostras de bambu com e sem nós, retiradas de painéis argamassados e submetidas a processos de envelhecimento natural e acelerado. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados de resistência à compressão paralela às fibras de bambus *in natura,* e podem ser observados nas Figuras 12 e 13.

Figura 12 - Relação linear entre a resistência à compressão paralela às fibras de bambu **sem nós**, no estado natural, envelhecido naturalmente e envelhecido de forma acelerada.



Fonte: Teixeira, 2013.

Figura 13 - Relação linear entre a resistência à compressão paralela às fibras de bambu **com nós**, nos estados *in natura*, envelhecido naturalmente e envelhecido rapidamente.



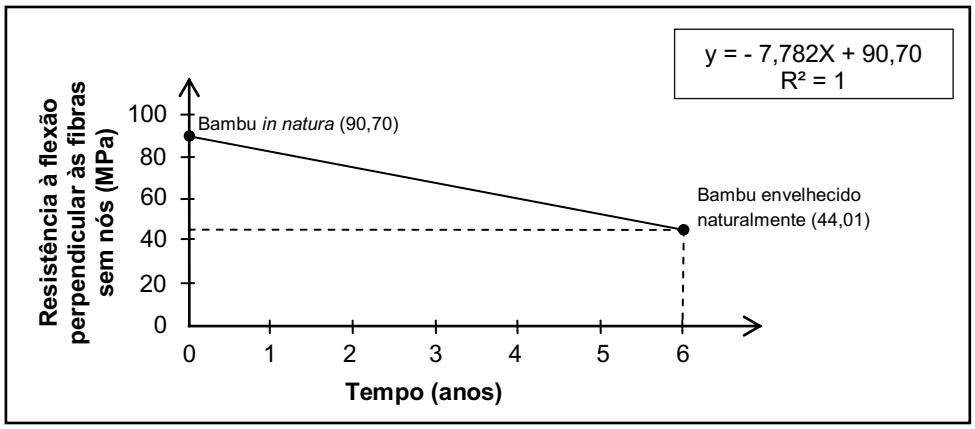
Fonte: Teixeira, 2013.

Considerando a relação linear entre o tempo e a resistência à compressão dos bambus estudados, observa-se que a resistência mecânica dos bambus (com e sem nós) submetidos a processos de envelhecimento natural e acelerado diminuiu ao longo dos anos, e no período de 6 (seis) anos, houve uma perda de 44,74% para as amostras sem nós e de 61,72% para as amostras com nós, a partir dos valores apresentados da Quadro 1. As perdas de resistência observadas podem ser consideradas significativas para o período avaliado. No entanto, os valores obtidos são equivalentes, por exemplo, aos valores de resistência à compressão do concreto convencional, que se situam na faixa de 20 a 30 MPa. Deve-se considerar que os colmos de bambu não atuam isoladamente no painel de vedação, estando inseridos em uma matriz rígida de cimento e bem aderidos a ela, como evidenciado pelos ensaios de aderência à tração da argamassa de revestimento desta pesquisa. A argamassa de revestimento, além de proteger os bambus dos efeitos de fechamento do clima e de microrganismos, confere maior estabilidade estrutural aos painéis, contribuindo para o bom desempenho do componente construtivo de vedação vertical. No que se refere à correlação entre o envelhecimento acelerado e o envelhecimento natural, a introdução da resistência à compressão paralela às fibras obtida após os 6 ciclos de envelhecimento acelerado, passaram a corresponder a 3,31 anos de envelhecimento natural.

4.2. Flexão perpendicular às fibras

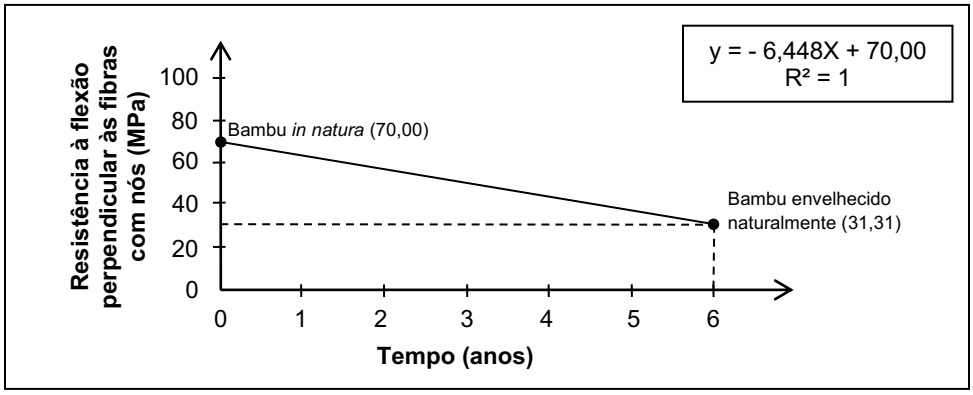
Os testes de flexão perpendicular às fibras foram realizados em colmos de bambu com e sem nós, retiradas de painéis de bambu envelhecidos naturalmente com argamassa. Os resultados obtidos foram comparados com os resultados de flexão perpendicular às fibras de bambus *in natura* e podem ser observados nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 - Relação linear entre o tempo e a resistência à flexão perpendicular às fibras de bambu **sem nós**, nos estados *in natura* e naturalmente envelhecido.



Fonte: Teixeira, 2013.

Figura 15 - Relação linear entre o tempo e a resistência à flexão perpendicular às fibras de bambu **com nós**, nos estados *in natura* e naturalmente envelhecido.



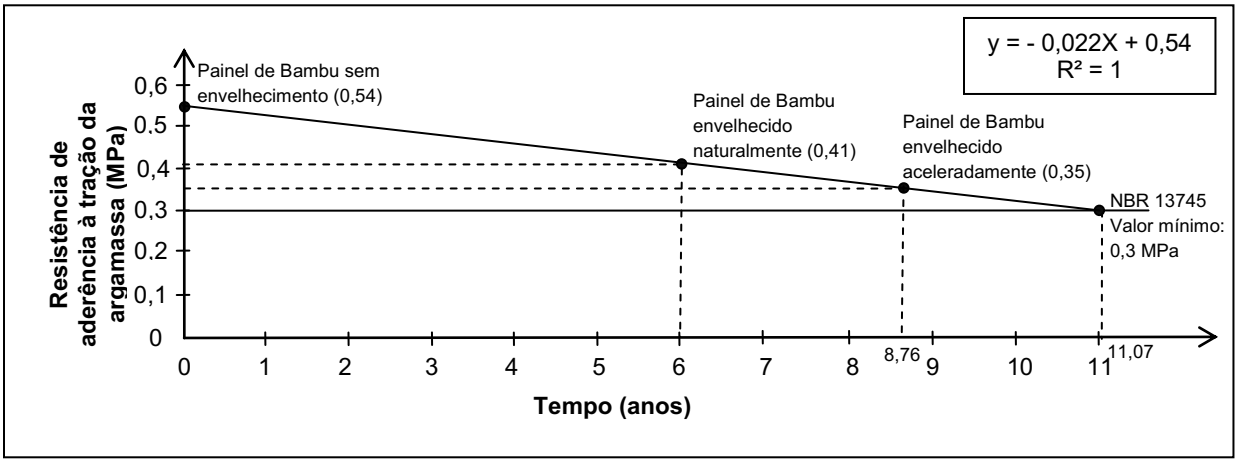
Fonte: Teixeira, 2013.

Segundo Beraldo *et al* (2003), os valores de resistência à flexão para bambus em geral situam-se entre 30 e 170 MPa. Os valores descritos são equivalentes aos resultados obtidos nesta pesquisa, onde os valores característicos encontrados estão na faixa entre 70 e 91 MPa. Ao analisar a relação linear estabelecida entre os resultados de resistência à flexão dos bambus estudados e o tempo (Figuras 14 e 15), observa-se que a resistência mecânica dos bambus envelhecidos naturalmente apresentou uma diminuição significativa ao longo dos anos, com perdas registradas de 51,48% e 55,27%, respectivamente, para amostras sem nós e com nós.

4.3. Aderência à tração da argamassa de revestimento

Uma das principais **manifestações patológicas** observadas em painéis de bambu revestidos com argamassa, em uma situação real de uso, como observado na Colômbia, é o desprendimento de partes da argamassa de revestimento. Esses fragmentos de argamassa causam perda de desempenho ao componente construtivo, permitindo a entrada de umidade e ar, além da redução do desempenho estético do painel. A Figura 16 apresenta a relação entre os resultados obtidos em um painel que não sofreu processo de envelhecimento e os resultados de resistência de adesão obtidos em painéis envelhecidos naturalmente e acelerado.

Figura 16: Relação linear entre o tempo e a resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento.



Fonte: Teixeira, 2013.

Considerando a relação linear entre o tempo e a resistência à tração da argamassa, representada pela Equação (y = - 0,022 x + 0,54), e levando em conta que a NBR 13749 (ABNT, 1996) estabelece um valor mínimo aceitável de 0,30 MPa para a resistência de adesão, é possível prever que, após 11,07 anos de envelhecimento natural, a adesão da argamassa ao painel atingirá o valor mínimo de 0,3 MPa. A utilização desta equação também indica que o processo de envelhecimento acelerado proposto (6 ciclos de umedecimento e secagem) equivale a 8,77 anos de envelhecimento acelerado.

5. CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, diversos painéis de bambu foram produzidos. Estes, por sua vez, foram submetidos a processos de envelhecimento, tanto natural quanto acelerado. Um dos principais objetivos deste procedimento foi avaliar as propriedades físico-mecânicas residuais após os processos de envelhecimento natural e acelerado. Além disso, a metodologia de envelhecimento acelerado adotada foi capaz de simular o envelhecimento natural de painéis de bambu revestidos com argamassa.

Após seis anos de envelhecimento natural, constatou-se que a densidade seca característica, a resistência à compressão paralela às fibras, a resistência à flexão perpendicular às fibras e a aderência à tração da argamassa de revestimento à matriz de bambu diminuíram. Essa diminuição está associada à retração dos colmos de bambu e aos processos de degradação da matriz vegetal, devido ao ataque de microrganismos e à exposição à matriz cimentícia de pH elevado (argamassa de revestimento). Estimativas de perdas residuais das propriedades avaliadas e da vida útil estimada do painel de bambu revestido com argamassa foram obtidas considerando uma relação linear entre o tempo e as propriedades medidas. Além disso, considerando a mesma relação linear entre a

densidade seca característica e as propriedades mecânicas do bambu, por meio de regressão linear, verificou-se a possibilidade de estimar a resistência à compressão e à flexão, com base na densidade seca característica, e vice-versa.

Quando existe algum parâmetro normativo associado a qualquer uma das propriedades avaliadas, como a resistência de aderência da argamassa e a resistência à compressão do elemento construtivo da alvenaria cerâmica, é possível prever a vida útil do painel de bambu argamassado avaliando esses requisitos de desempenho. Assim, como a NBR 13.749 (ABNT, 1996) estabelece um valor mínimo de 0,3 MPa para a resistência de aderência, foi possível prever que, após 11,07 anos de envelhecimento natural, a aderência da argamassa ao painel atingirá o valor normativo de referência (0,3 MPa). Com relação às matrizes cerâmicas da alvenaria de vedação, as normas NBR 15.270-1 (ABNT, 2005) e NBR 7170 (ABNT, 1983) estabelecem uma resistência mínima à compressão de 1,5 MPa para blocos cerâmicos e tijolos maciços. Considerando os resultados obtidos nesta tese e levando em conta uma relação linear entre o tempo e a resistência à compressão, seriam necessários 9,49 anos de envelhecimento natural para que a matriz de bambu natural atingisse o valor de referência normativo (1,5 MPa). Esses dados estimados sobre a vida útil dos painéis de bambu são próximos das estimativas empíricas de 10 a 15 anos citadas por Liese (1987). No entanto, deve-se considerar que os bambus utilizados neste estudo não foram submetidos a procedimentos tradicionais de preservação e imunização, o que levaria a um aumento na vida útil dos bambus.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos orientadores desta pesquisa, Prof. Jaime Almeida (UnB), Prof. José Dafico Alves (UEG) e Prof. Enio Pazini Figueiredo (UFG) pelos ensinamentos e orientações durante todo o processo de desenvolvimento da pesquisa, bem como aos laboratoristas, laboratórios e espaços físicos utilizados, das três instituições de ensino citadas. Agradeço à CAPES pelo apoio e incentivo à pesquisa por meio de Bolsa de Pesquisa Científica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7170. **Tijolo Maciço Cerâmico para Alvenaria.** Rio de Janeiro, RJ, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190. **Projeto de Estruturas de Madeira.** Rio de Janeiro, RJ, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.528. **Revestimento de paredes de argamassa inorgânica - Determinação de resistência de aderência à tração. Parte 1 - Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, RJ, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.554: **Solo-Cimento - Ensaio de Durabilidade por molhagem e secagem - Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.749: **Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Especificações.** Rio de Janeiro, RJ, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15270-1: **Componentes cerâmicos, Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.**

Rio de Janeiro, RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16.828: **Estruturas de Bambu - Parte 1 - Projeto e Parte 2 - Determinação das Propriedades Físicas e mecânicas do Bambu**. Rio de Janeiro, RJ, 2020.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A.; CASCARDO, C. R.; RIBEIRO, C. A. 2003. DESEMPENHO DE UM DISPOSITIVO PARA EFETUAR O TRATAMENTO QUÍMICO DE COLMOS DE BAMBU: Avaliação por Ultra-Som. In: **Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Anais. São Carlos, SP, Brasil. 2003.

DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus do Brasil: da Biologia à Tecnologia.** Coordenação: Embrapa Florestas. Rio de Janeiro: ICH / UFV, 2017.

EMBRAPA (Amazônia Ocidental). **Manejo Sustentado de Bambu Nativo na Amazônia: Resultados de 5 Anos de Testes no Acre.** Manaus: EMBRAPA, 2024.

INBAR. **Roadmap do Bambu para o Brasil – Um Caminho Sustentável a Seguir: Estrutura Estratégica e Plano de Ação** / Bamboo Roadmap for Brazil – A Sustainable Way Forward. Beijing: INBAR, 2024a.

INBAR. **Mercado e Cadeia de Valor do Bambu na América Latina** / Bamboo Market and Value Chain in Latin America. Beijing: INBAR, 2024b.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre: Prioridades para Manejo de Bambu.** Rio Branco: ICMBio, 2023.

JARAMILLO, S. V. **La guadua en los proyectos de inversión.** In: Anales del Congreso Mundial de Bambú Guadua. Pereira, Colômbia, 1992.

LEE, A. W. C.; BAI, X.; BANGI, A. P. **Flexural properties of bamboo-reinforced southern pine OSB beams.** Madison: Forest Products Journal, 1994.

LIESE, W. **Anatomy and properties of bamboo**. In: RECENT RESEARCH ON BAMBOOS, 1985, Hangzhou/China. Anais… Hangzou/China: Chinese Academy of Forestry; International Development Research Centre, 1987.

TEIXEIRA, A. A. **Painéis de Bambu para habitações econômicas: Avaliação do desempenho dos painéis revestidos om argamassa.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – UNB, Brasília. 2006.

TEIXEIRA, A. A. **Desempenho de Painéis de Bambus Argamassados para Habitações Econômicas: Aplicação na Arquitetura e Ensaios de Durabilidade**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – UNB, Brasília. 2013.

TEIXEIRA, A. A.; MARÇAL, V. H. S. **Rooted Resilience: How Brazil's Bamboo Sector Advances Climate Action**. In: BRU Bamboo & Rattan Update, Vol. 6, Issue 2, June 2025. Beijing: INBAR, 2025.