



## **PAINÉIS DE ARGAMASSA ARMADA REFORÇADOS COM BAMBU (*Bambusa vulgaris*) VISANDO A UTILIZAÇÃO EM PEQUENAS CONSTRUÇÕES RURAIS**

**Flavio Alves Damasceno<sup>1</sup>, Cleive Leones Neves<sup>2</sup>, Carlos Eduardo Alves Oliveira<sup>3</sup>, Francine Damian Da Silva<sup>4</sup> & Lina Marcela Guerra<sup>5</sup>**

**RESUMO:** Objetivou-se com o presente trabalho avaliar as características físicas e mecânicas dos bambus (*Bambusa vulgaris* e *Bambusa vulgaris vittata*) com diferentes tratamentos térmicos e aplicá-los como reforço à placa de argamassa armada em substituição ao aço. Para isto, amostras de bambu foram selecionadas e retiradas de uma propriedade rural no município de Rondonópolis - MT. Foram realizados dois tratamentos térmicos (banho em água quente e banho quente-frio com óleo de cozinha usado). Testes foram realizados para determinação do índice de deterioração e teor de umidade do bambu com e sem os tratamentos. Posteriormente, com base nos resultados dos ensaios de tração e compressão do bambu, foram confeccionadas placas de argamassa armada com seis diferentes tipos de reforços. Com base nos resultados obtidos, observou-se que os tratamentos térmicos, diminuíram o teor de umidade e a biodegradação do bambu. No que se refere às propriedades mecânicas, no ensaio de compressão simples, não houve melhoria significativa. Entretanto, tratamento térmico com bio-óleo na amostra de bambu amarelo com nó obteve maior valor de resistência à tração. Observou-se que os tratamentos térmicos com bio-óleo e água apresentaram valores médios de resistência a flexão superiores à testemunha.

**PALAVRAS-CHAVE:** bioconstrução, propriedade mecânica, tratamento térmico.

### **MORTAR PANELS REINFORCED WITH BAMBOO (*Bambusa vulgaris*) FOR THE USE IN SMALL RURAL BUILDINGS**

**ABSTRACT:** The objective of this work to evaluate the physical and mechanical characteristics of bamboos (*Bambusa vulgaris* and *Bambusa vulgaris vittata*) with different heat treatments and apply them as reinforcement to mortar Board instead of steel. For this, bamboo samples were selected and removed from a country estate in the municipality of Rondonopolis-Mt. were performed two heat treatments (shower in hot water and hot-cold bath with used cooking oil). Tests were performed to determine the rate of deterioration and moisture content of bamboo with and without the treatments. Subsequently, based on the results of the tensile and compression of the bamboo, mortar boards were made with six different types of backup. Based on the results obtained, it was observed that the thermal treatment and prophylactic, decreased the moisture content and the biodegradation of bamboo. There was no significant improvement in the simple compression test in the treatments tested. However, thermal treatment with bio-oil in the sample of yellow bamboo with knot obtained higher value of tensile strength. It was observed that the thermal treatments with bio-oil and water had average values of flexural strength higher than the control.

**KEYWORDS:** Bioconstruction, mechanical property, heat treatment.

## **1 INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, a busca por tecnologias e materiais alternativos vem ganhando destaque (MELISA; WALSH; BARROS, 2016), sendo de fundamental importância para o desenvolvimento e consolidação de construções de agrovilas, além de priorizar o melhor uso de matérias-primas até então pouco explorados. Nesse cenário, pode-se destacar o bambu, material vegetal com notáveis propriedades mecânicas, e com grande potencial de uso, sobretudo em estruturas na área de engenharia (LUNA; LOZANO; TAKEUCHI, 2014).

O bambu é uma planta bastante disseminada em todo o mundo, podendo-se destacar sua utilização em países

asiáticos como China, Japão e Índia, e Sul-Americanos, como a Colômbia, onde há grande investimento para sua utilização em construções (SÁNCHEZ; ESPUNA; ROUX, 2016).

Embora apresente notável utilidade, o uso do bambu ainda é muito negligenciado, por ser considerado um material de segunda mão ou de categoria inferior. No Brasil, sua utilização decorre sobretudo das tradições do meio rural, sendo aplicado em cercas e pequenas construções voltadas para abrigo animal (PEREIRA NETO et al., 2009).

Atualmente, existem empresas no setor agropecuário que tentam construir agrovilas, com o fim de manter os trabalhadores perto da zona rural, melhorando a eficiência na produção (GUERRA-GARCÍA et al., 2015). Entretanto, ainda existem trabalhadores rurais

<sup>1</sup> <sup>2</sup> <sup>3</sup> <sup>4</sup> <sup>5</sup> E-mails: [flavio.damasceno@deg.ufla.br](mailto:flavio.damasceno@deg.ufla.br) ; [cleiveleones@gmail.com](mailto:cleiveleones@gmail.com); [carlos.oliveira@engagricola.ufla.br](mailto:carlos.oliveira@engagricola.ufla.br); [frandamian@hotmail.com](mailto:frandamian@hotmail.com) ; [lmgg1220@gmail.com](mailto:lmgg1220@gmail.com)

vivendo em casas sem condições de moradia, com ausência quase total de infraestrutura (DE OLIVEIRA; KARNOPP, 2015).

Como resultado da alta demanda para a construção de casas com qualidade, inseridas em um contexto de urbanidade para os trabalhadores rurais, torna-se imprescindível a criação de soluções construtivas rápidas e de baixo custo (GUERRA-GARCÍA et al., 2013), para produção em pequena ou larga escala, o que sugere a industrialização com algum grau de pré-fabricação dos componentes.

Entre os materiais que têm as características para possibilitar esses tipos de soluções, destaca-se a argamassa armada, a qual é de fácil construção e reparação, gera baixo custo em razão do tipo de material, requer pouco tempo de execução, mão de obra não qualificada (BHATEWARA; AHIRE; AGRAWAL, 2018), além de ser bastante resistente mecanicamente (SHEIKH; KHAN, 2017).

Deste modo, em função das inúmeras vantagens que a associação dos conceitos relativos à argamassa armada e ao bambu em geral pode trazer (CHITHAMBARAM; KUMAR, 2017; KUMAR; ASHISH, 2015), e sem perder de vista a possibilidade de ocorrência de diversos problemas dela decorrentes, é que se justifica a realização do estudo da viabilidade da utilização da argamassa armada com reforço de bambu.

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar as características físicas e mecânicas dos bambus (*Bambusa vulgaris* e *Bambusa vulgaris vittata*) com diferentes tratamentos térmicos, e aplicá-los como reforço às placas de argamassa armada em substituição ao aço.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no período de fevereiro a março de 2015, no Laboratório de Materiais do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Universitário de Rondonópolis. Deste modo, dividiu-se este estudo em diversas etapas:

### 2.1 COLETA E SECAGEM DOS COLMOS DE BAMBU

Na primeira etapa, coletou-se as amostras de bambu das espécies *Bambusa vulgaris* e *Bambusa vulgaris vittata*, em virtude de sua grande disponibilidade na região e boa trabalhabilidade. As amostras foram coletadas a uma altura de 300 mm do solo, sendo, em seguida, seccionadas em três partes equivalentes, correspondentes às partes basal, intermediária e topo. Os ramos nos colmos foram dispostos na posição vertical em ambiente ventilado e protegidos do sol para secagem durante 4 semanas.

### 2.2 TRATAMENTOS TÉRMICOS APLICADOS NO BAMBU

Na segunda etapa, dividiu-se aleatoriamente em seis grupos com cinco amostras de cada bambu (amarelo e verde), totalizando 60 amostras. Dois grupos de amostras de bambu verde e amarelo não receberam nenhum tratamento. Outros quatro grupos foram submetido à dois tipos de tratamentos profilático e térmico diferentes com a finalidade de evitar o ataque de possíveis insetos e parte do açúcar e de outros extrativos nocivos às reações de pega e endurecimento do cimento.

O primeiro tratamento térmico consistiu de um banho em água fervente (profilático). Para isto, as peças foram cortadas em porções menores, através de serra circular, e abertas, na direção longitudinal. Os colmos foram colocados em tonel metálico e fervidos durante 30 minutos. Após o período de fervura, os mesmos foram retirados e deixados a escorrer o excesso de água, conforme sugerido por Lopes et al. (2002).

O segundo grupo de amostras foi submetido ao tratamento bio-óleo, onde o óleo foi coado e colocado em um caldeirão de alumínio para ser aquecido a uma temperatura média de 140 °C. Após a aferição da temperatura com termômetro digital tipo espeto (mod. TP101, faixa de temperatura: -50 a 300 °C e precisão de  $\pm 0,1$  °C), as amostras foram mergulhadas no banho de óleo quente por 10 minutos, seguindo a metodologia proposta por Grenier et al. (2003). Em seguida, as amostras foram transferidas para um segundo banho de óleo de soja frio, permanecendo por 10 minutos. Todas as amostras permaneceram durante 24 horas sobre folhas de papel absorvente para escorrer o excesso de óleo e foram novamente pesadas. O óleo utilizado em todas as etapas deste tratamento era proveniente de cozinhas de residências da região, com o intuito de reaproveitamento desse produto que é comumente descartado no meio ambiente.

### 2.3 TEOR DE UMIDADE E ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO

Os testes de umidade e índice de deterioração foram realizados em laboratório, utilizando estufas e balanças analíticas para secagem e pesagem das amostras de bambu.

Na determinação do teor de umidade, foram selecionadas amostras aleatórias das duas espécies de bambu (amarela e verde) de diferentes partes (basal, intermediária e topo). Foram analisadas as amostras sem e com tratamentos térmicos, representando um total de 54 amostras, conforme apresentado na Tabela 1.

Primeiramente as amostras foram pesadas com balança digital de 0,01g de sensibilidade e logo em seguida colocadas em uma estufa à temperatura de 105 °C por 24 horas. Após esse período as amostras foram retiradas e pesadas novamente obtendo-se o teor de umidade através da equação 1, em que: U é o teor de umidade (%),  $M_u$  é a massa da amostra úmida (g) e  $M_s$  é a massa da amostra seca (g).

$$U = [(M_u - M_s) / M_u] * 100 \quad (1)$$

**Tabela 1 - Descrição dos tratamentos térmicos testados nas amostras de bambu.**

Tratamento	Descrição
BVST	Bambu verde sem tratamentos profilático e térmico
BVTA	Bambu verde com tratamento profilático (banho em água quente)
BVTO	Bambu verde com tratamento térmico (bio-óleo)
BAST	Bambu amarelo sem tratamentos profilático e térmico
BATA	Bambu amarelo com tratamento profilático (banho em água quente)
BATO	Bambu amarelo com tratamento térmico (bio-óleo)

Na avaliação do índice de deterioração do bambu, amostras de diferentes partes do bambu com e sem tratamento térmico foram colocadas em recipientes hermeticamente fechados e adicionados semanalmente 50 ml de água destilada. Em cada recipiente, foram anotadas as informações pertinentes a cada tratamento. Durante trinta dias foi realizada observação visual no estado da superfície do bambu. Adotou-se um índice de deterioração (IMD), adaptado de Lepage (1970), para a avaliação da decomposição dos corpos-de-prova, em que, por meio do dano neles causados, notas foram atribuídas à geração do índice médio de deterioração (Tabela 2).

**Tabela 2 - Classificação do nível de degradação dos corpos-de-prova.**

Estado de sanidade	Nota	Índice de deterioração
Sadio, nenhum dano visível	0	100
Ataque leve ou superficial de fungos, térmitas, etc.	1	90
Ataque evidente e moderado de fungos, térmitas, etc.	2	70
Apodrecimento intenso ou ataque interno de térmitas	3	40
Deterioração intensa, com desfibramento evidente.	4	0

Fonte: Adaptado de LEPAGE (1970).

## 2.4 AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO BAMBU

Foram confeccionados 108 corpos-de-prova cilíndricos de bambu, para os testes de compressão paralela às fibras, retirados das regiões da base, do meio e da ponta do bambu. Definiu-se as dimensões de cada corpo-de-prova. Todos apresentando tamanhos variáveis, porém, sempre mantendo a relação comprimento igual ao diâmetro externo.

Os corpos-de-prova sem nós foram tomados da região internodal, e os com nós, foram levados em consideração a parte nodal como metade do comprimento.

Para o cálculo do diâmetro médio foi considerado a média de quatro dimensões em cada extremidade, as medições foram realizadas com paquímetro digital (precisão  $\pm 0,01$  mm). Posteriormente, no preparo dos corpos-de-prova para compressão, foram tomadas as medidas paralelas e transversais com fita métrica e régua, as espessuras com paquímetro digital, de acordo com a posição no colmo. Em seguida, os corpos-de-prova foram devidamente numerados e identificados. Então os colmos foram cortados com serra circular e com serra fita para maior precisão e uniformidade.

Nos ensaios de esforço à tração, foram confeccionados também 108 corpos-de-prova retirados de taliscas, das regiões da base, do meio e da ponta do bambu, cortadas no sentido transversal com serra circular, e no sentido longitudinal com uma faca. Em seguida, com o uso de plaina, faca, esmeril, mini retífica e lixa essas peças foram retificadas até a obtenção de uma seção retangular de 25 mm x 200 mm (LOPES; FREIRE; FERREIRA, 2002).

Para confecção dos corpos-de-prova, seguiu-se a recomendação de dimensões do CEPED (CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO, 1982), as quais, devido ao bambu ser uma espécie fibrosa, foram obtidas facilmente com uma faca após a demarcação das linhas de corte. Entretanto, para melhor adaptação na máquina universal, algumas modificações foram atribuídas, prevalecendo-se, no entanto, a estrutura original. Aumentou-se ligeiramente o comprimento da parte central, com o intuito de melhor distribuição das cargas nesta área e com isso evidenciar mais facilmente o rompimento delas.

Os ensaios de compressão simples e tração paralela as fibras do bambu foram realizadas no Laboratório de Materiais do Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas em máquina universal de ensaios (TIME-Shijin Group, modelo WDW-100E, com capacidade máxima de 100 kN).

Para o ensaio de compressão simples, foram avaliados: o diâmetro externo, comprimento e a área da seção transversal. No ensaio as amostras foram centralizadas e fixadas, e a máquina configurada para uma velocidade de  $1,0 \text{ mm min}^{-1}$ .

No ensaio de esforço de tração paralela as fibras do bambu, foram utilizadas taliscas provenientes das partes basais, centrais e superiores com o total de amostras, de acordo com Ghavami e Marino (2005). As medidas tomadas no ensaio foram, largura, comprimento e espessura, e em seguida, fixadas nas garras da máquina, com a configuração da velocidade de  $1 \text{ mm min}^{-1}$ .

Ademais, nos primeiros testes observou-se que os corpos-de-prova se desprendiam das garras da máquina universal e alguns chegaram a quebrar, devido ao esmagamento da extremidade. A partir disso, foi necessário fazer uma raspagem, para melhor fixação das garras, feitas com o uso de uma faca e mini retífica.

## 2.5 CONFEÇÃO E AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS PLACAS DE ARGAMASSA ARMADA

O bambu foi cortado e deixado secar a sombra e em ambiente livre de umidade por trinta dias, logo após esse período foram realizados os tratamentos profiláticos e bio-óleo, conforme descrito anteriormente, para confeccionar as armações de bambu a serem incorporadas na placa de argamassa. Em seguida, foram retirados os colmos de 0,5 m de comprimento e taliscas de 0,005 m de largura, com a espessura natural da parte intermediária e basal.

Em todos os tipos de malha para reforço de bambu, foi utilizado o mesmo princípio de conformação (malha), sendo cinco taliscas de 0,5 m e três taliscas de 0,25 m, amarradas com arame cozido, sendo assim distribuída de maneira uniforme. Para comparar a resistência mecânica das malhas de diferentes espécies de bambus (amarelo e verde) sem e com tratamentos térmicos, utilizou-se uma placa de argamassa sem malha (testemunha) e malhas de aço, comumente utilizadas em estruturas de argamassa armada, conforme descrito na Tabela 3.

**Tabela 3** - Descrição dos tratamentos das placas de argamassa armada e suas respectivas armações.

Tratamento	Descrição
MBA	Bambu com tratamento profilático (banho em água quente)
MBO	Bambu com tratamento térmico (banho em óleo)
MBS	Bambu seco, sem tratamento
MBV	Bambu em estado verde, recém colhido e sem tratamento
MEX	Malha hexagonal (tela de galinheiro)
MAE	Malha quadrada de aço eletrossoldado
PSA	Placas sem armação, somente argamassa

Primeiramente, para moldagem da placa foi necessária a construção de formas de madeira, medidas com fita métrica, cortadas com serra circular, unidas com dois pregos nº 12 em cada junção, e de dimensões na parte interna, iguais as das placas (0,5 x 0,25 x 0,05 m).

Foram feitas 21 formas de madeira utilizando ripas de madeira de 50 mm de largura x 15 mm de espessura, sendo que cada forma foi reutilizada quatro vezes para confecção das placas de argamassa armada. A argamassa utilizada para preenchimento das placas tinha um traço igual à 1:2:0,45 (cimento CP-32, areia e cal hidratada). A argamassa foi misturada de forma manual, seguindo recomendações da NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015). Em seguida, colocou-se a malha (bambu ou aço) na forma e preencheu-se com a argamassa, vibrando as formas para melhor adensamento da argamassa.

As placas de argamassa armada foram deixadas cobertas com lona plástica na sombra, sendo molhadas duas vezes

ao dia, para evitar trincas e rachaduras. Depois de desmoldadas, as placas de argamassa armada ficaram com as seguintes dimensões: comprimento de 0,5 m, largura de 0,25 m e espessura de 0,05m. Foram confeccionadas cinco placas para cada tratamento.

Na etapa final, realizou-se o ensaio de flexão das placas de argamassa armada na seção prismática através de ensaios submetido à flexão, com carregamentos em duas seções simétricas, até à ruptura. O ensaio também é conhecido por carregamento nos terços, pelo fato das seções carregadas se encontrarem nos terços do vão, recomendado pela NBR 12142 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

Para avaliar a capacidade do sistema de argamassa armada reforçada em resistir à ruptura quando submetido ao esforço de tração na flexão, adotou-se a velocidade de carregamento igual a 0,05 kN s<sup>-1</sup>, conforme indicado na NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) e NBR 12142 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). Todo o ensaio foi realizado em ambiente controlado com temperatura do ar de 23 ±2 °C e umidade relativa de 60 ±5 %.

O ensaio de tração na flexão foi realizado em dois pontos. Para melhor alinhar o corpo de prova diante dos apoios, e garantir que os esforços sejam simétricos e efetivamente aplicados nos pontos corretos, demarcou-se com linhas os posicionamentos devidos. A carga no ensaio de tração na flexão da argamassa armada foi aplicada sobre o corpo-de-prova continuamente e sem choques, com crescimento constante de velocidade até que fosse visualmente percebida a ruptura da argamassa.

As placas foram medidas e marcadas com lápis de carpinteiro, deixando 25 mm em cada extremidade, ficando com um vão de 150 mm entre cada terço. Como todas as placas são análogas, as configurações na máquina foram as mesmas, comprimento 500 mm, largura 250 mm, espessura 50 mm e velocidade de ensaio de 1 mm min<sup>-1</sup>.

Os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão nas placas de concreto armado com diferentes materiais e tratamentos, foram analisados para determinar a resistência a tração na flexão (fctM, em MPa), conforme recomendado pela NBR 12142 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010), utilizando-se as seguintes equações:

Quando a ruptura na placa de argamassa armada ocorreu no terço médio da distância entre os elementos de apoio, utilizou-se a equação 2:

$$fctM = (p \cdot \ell) / (b \cdot d^2) \quad (2)$$

Em que: p é a carga máxima aplicada, em N;  $\ell$  é a distância entre cutelos de suporte, em mm; b é a largura média do corpo-de-prova na seção de ruptura, em mm; e d é a altura média do corpo-de-prova, na seção de ruptura, em mm.

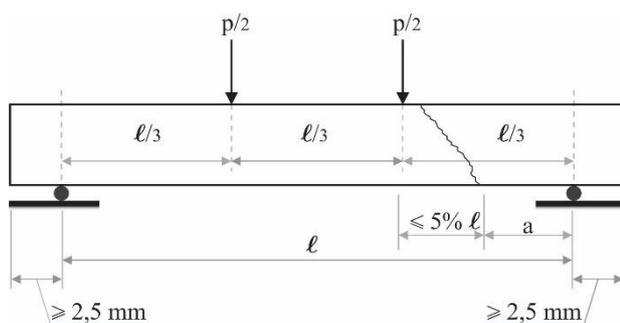
Por outro lado, quando a ruptura na placa de argamassa armada ocorreu fora do terço médio, a uma distância entre cutelos de suporte não superior a 5%, calculou-se a resistência à tração na flexão pela equação 3:

$$fctM = (3 \cdot P \cdot a) / (b \cdot d^2) \quad (3)$$

Em que:  $a$  é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, obtida com aproximação de 1 mm, mediante a tomada de três medidas ( $a \geq 0,283\ell$ ).

Ademais, caso a ruptura ocorra além dos 5% ( $a > 0,283\ell$ ), o ensaio não tem validade.

Na Figura 1, tem-se um esquema da representação da placa de argamassa armada, com cargas no terço médio.



**Figura 1** - Representação da placa de argamassa armada, com cargas no terço médio. Adaptado de NBR 12.142 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010).

## 2.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para as análises das características físicas, teor de umidade, mecânicas do bambu e da resistência mecânica das placas de argamassa armada, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizados (DIC), com seis repetições, num esquema fatorial ( $3 \times 2 \times 3$ ): dois tratamentos térmicos e sem tratamento (profilático, bio-óleo e testemunha), duas características do bambu (com e sem nó) e três posições (basal, intermediária e topo), totalizando 108 corpos-de-prova. No caso da resistência mecânica das placas de argamassa armada, também foi utilizado o DIC, com sete tratamentos de tipos de malhas (MBA; MBO; MBS; MBV; MEX; MAE e PSA) e cinco repetições. O tratamento PSA foi considerado a testemunha. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas utilizando-se o teste Scott Knott, a 5 % de probabilidade.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme pode ser observado na Tabela 4, no geral, as amostras de bambu verde e amarelo que receberam os tratamentos profilático e térmico com água quente e óleo apresentaram menos danos visuais evidentes. Pelos resultados, fica evidente que os tratamentos profilático e térmico auxiliam na redução de danos superficiais a estrutura do bambu.

Esse índice não ratifica que microrganismos e processos abióticos não tenham atuado na degradação dessas amostras de forma intensa, sendo sua interpretação está relacionada com danos aparentes, evidentes e macroscópicos.

**Tabela 4** - Índice médio de deterioração (IMD) dos corpos-de-prova de bambu com e sem tratamentos profilático e térmico.

Tratamentos	IMD
BVST	0
BVTA	70
BVTO	90
BAST	40
BATA	70
BATO	90

Na Tabela 5, pode-se observar o valor médio das principais dimensões (largura, comprimento e espessura) em três diferentes posições (base, meio e ponta) das amostras de bambu verde e amarelo com e sem tratamento profilático e térmico. A largura média dos corpos-de-prova feito com o tratamento BVTO obteve valor ligeiramente maior (10,1 mm) que os outros tratamentos testados com nó. Os comprimentos encontrados neste estudo variaram entre 40,0 a 51,0 mm. Entretanto, o tratamento BVST sem nó apresentou espessura superior aos demais.

Na Tabela 6, é possível observar a média das umidades relativas aos três diferentes tipos de tratamentos dos bambus verde e amarelo, correspondentes as partes basais, intermediária e ponta dos colmos. Destacam-se os menores valores de teor de umidade nas amostras com tratamento térmico com óleo (BVTO), devido a propriedade hidrofóbica do óleo, a água é repelida da superfície do bambu.

De acordo com Chaowana (2013) e Brito et al. (2015) na região basal do colmo é bem representativa a ocorrência de células parenquimatosas, em detrimento dos feixes de fibras, que existem em menor proporção. O parênquima é formado por células pouco rígidas, constituídas basicamente de celulose e lignina, envolvendo cavidades (LIMA JR.; DIAS, 2001), que poderiam ser responsáveis pela maior absorção de água nesta região, se comparada com as regiões do meio e da ponta do colmo de bambu.

Os tratamentos térmicos com bio-óleo apresentaram maior eficácia na diminuição da umidade do bambu, o que é favorável se tratando de utilização como concreto armado. Para as três partes do bambu base, meio e topo, as médias ficaram abaixo de 15 % de umidade. O processo de tratamento térmico bio-óleo reduz significativamente a umidade do bambu (LI et al., 2015; BUI; GRILLET; TRAN, 2017). Esse tipo de tratamento não evita que brocas ou cupins perfurem o bambu, no entanto eles não conseguem sobreviver no mesmo, evitando uma grande destruição do material (GHAVAMI; MARINHO, 2001).

**Tabela 5** - Média e desvio padrão das principais dimensões em diferentes posições (base, meio e ponta) das amostras de bambu com e sem tratamento profilático e térmico.

Tratamento	Posição	Com nó			Sem nó		
		L	C	E	L	C	E
BVST	Base	10,2 ± 1,2	50,0 ± 0,8	9,8 ± 0,7	9,8 ± 0,7	50,0 ± 0,8	19,0 ± 0,8
	Meio	9,2 ± 0,8	40,0 ± 0,8	8,3 ± 0,9	8,3 ± 0,9	44,8 ± 1,7	8,7 ± 1,1
	Ponta	9,9 ± 0,8	49,3 ± 1,0	10,0 ± 0,5	10,0 ± 0,5	44,5 ± 1,3	5,8 ± 0,1
BVTA	Base	10,9 ± 0,9	50,3 ± 0,6	14,5 ± 0,6	10,6 ± 0,3	50,3 ± 0,6	13,7 ± 0,6
	Meio	10,3 ± 0,2	51,0 ± 1,0	13,7 ± 0,6	10,5 ± 0,6	49,0 ± 1,0	8,1 ± 0,4
	Ponta	8,9 ± 0,8	50,0 ± 2,0	6,1 ± 0,2	10,0 ± 0,4	50,3 ± 1,5	5,2 ± 0,1
BVTO	Base	10,3 ± 0,6	50,7 ± 0,6	17,7 ± 0,5	9,5 ± 0,2	51,0 ± 1,0	14,5 ± 0,2
	Meio	10,2 ± 0,4	50,7 ± 1,5	9,4 ± 0,5	9,4 ± 0,3	51,0 ± 1,0	7,3 ± 0,2
	Ponta	10,0 ± 0,5	50,0 ± 2,0	6,6 ± 0,5	9,6 ± 0,1	50,0 ± 2,0	5,3 ± 0,2
BAST	Base	10,2 ± 0,4	49,8 ± 1,7	14,5 ± 0,6	9,4 ± 0,4	40,0 ± 1,6	10,4 ± 0,3
	Meio	9,9 ± 0,7	44,5 ± 1,3	11,7 ± 1,4	10,0 ± 0,3	49,8 ± 1,7	6,7 ± 0,2
	Ponta	9,7 ± 0,3	44,5 ± 1,3	11,2 ± 0,9	9,9 ± 1,2	45,0 ± 0,8	6,0 ± 0,4
BATA	Base	10,1 ± 0,3	48,7 ± 0,6	15,7 ± 0,3	9,3 ± 0,7	41,0 ± 1,0	10,6 ± 0,1
	Meio	10,0 ± 0,4	44,3 ± 0,6	9,4 ± 0,3	9,3 ± 0,6	50,0 ± 2,0	6,8 ± 0,1
	Ponta	9,2 ± 0,6	45,3 ± 0,6	7,0 ± 0,4	10,5 ± 0,5	44,7 ± 0,6	6,2 ± 0,2
BATO	Base	10,3 ± 0,2	49,0 ± 1,0	12,8 ± 3,1	9,9 ± 0,5	40,7 ± 0,6	10,4 ± 0,3
	Meio	9,0 ± 1,2	44,7 ± 0,6	9,3 ± 0,2	9,1 ± 0,4	49,7 ± 1,5	6,9 ± 0,3
	Ponta	9,8 ± 0,2	45,0 ± 1,0	6,6 ± 0,1	9,7 ± 0,4	43,7 ± 1,5	6,9 ± 0,2

L: largura; C: comprimento; E: espessura. Dimensões em mm.

**Tabela 6** - Teor de umidade (%) em diferentes regiões (base, meio e ponta de colmos de bambu), para os diferentes tratamentos avaliados neste estudo (± desvio-padrão).

Região	Tratamentos					
	BVST	BVTA	BVTO	BAST	BATA	BATO
Base	59,0 ± 1,3 Aa	19,7 ± 4,1 Ad	13,9 ± 3,6 Ae	61,5 ± 1,4 Aa	50,9 ± 1,8 Ab	40,0 ± 4,0 Ac
Meio	44,0 ± 4,7 Ba	17,0 ± 1,3 Bc	5,8 ± 0,6 Be	46,1 ± 2,2 Ba	22,6 ± 1,2 Cb	9,1 ± 3,3 Bd
Ponta	27,9 ± 3,6 Cb	22,2 ± 3,0 Ac	5,0 ± 2,4 Be	30,2 ± 4,5 Ca	32,3 ± 0,6 Ba	9,4 ± 1,6 Bd

As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 5%.

Os dados de resistência à compressão simples, paralela às fibras do bambu, em MPa, avaliados de acordo com a condição do colmo (com e sem nó), encontram-se apresentados na Tabela 7. Em relação à resistência à compressão, a análise dos dados revelou que não houve interação ( $P < 0,05$ ) entre as amostras com nó e sem nó.

**Tabela 7** - Valores médios de resistência à compressão (em MPa) paralela às fibras do bambu (± desvio-padrão).

Trat.	Resistência à compressão (MPa)			
	Com nó		Sem nó	
BVST	9,4 ± 2,1	Aa	11,7 ± 4,1	Aa
BVTA	6,9 ± 1,2	Aa	13,2 ± 4,9	Aa
BVTO	9,0 ± 2,0	Aa	10,3 ± 3,1	Aa
BAST	18,7 ± 6,7	Aa	14,0 ± 1,6	Aa
BATA	36,0 ± 2,1	Ba	20,4 ± 8,1	Bb
BATO	9,4 ± 2,1	Aa	11,7 ± 4,1	Aa

As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 5%.

Segundo Luna, Lozano e Takeuchi (2014), o valor da resistência à compressão do bambu é muito menor que a resistência à tração, numa mesma espécie. A resistência

à tração chega a ser quatro vezes maior que a resistência à compressão.

Ghavami e Marinho (2001), evidenciaram a resistência à compressão do bambu *Gadua angustifolia*, com média de 29,48 MPa.

Neste estudo, no geral, observou-se que a resistência à compressão dos corpos de prova sem nó, foram estatisticamente semelhantes ( $P > 0,05$ ) aos com nó para o bambu verde. Entretanto, houve diferença estatística no tratamento BATA.

Dentre os tratamentos testados, o bambu amarelo apresentou os melhores resultados com o tratamento BATA, que foi estatisticamente superior aos demais ( $P < 0,05$ ), atingindo  $36,0 \pm 2,1$  MPa (com nó) e  $20,4 \pm 8,1$  (sem nó).

A variação de resistência mecânica do bambu, entre as espécies, é grande (CHAOWANA, 2013) e, dentro de uma mesma espécie, varia de acordo com a idade, umidade, condições de crescimento, dentre outros fatores (MARINHO et al., 2013).

Os dados de resistência à tração simples, paralela às fibras do bambu, em MPa, avaliados de acordo com a condição do colmo (com e sem nó), encontram-se apresentados na Tabela 8. Os resultados do ensaio de resistência à tração simples mostraram que, ao nível de 95% de probabilidade estatística, os tratamentos BATO e BATA apresentaram maiores valores médios de tensão de ruptura para o bambu com e sem nó, respectivamente. O tratamento profilático e térmico (banho em água quente) atingiu resultado esperado, evidenciando a diminuição do ataque de microrganismos e sem redução da resistência a tração.

**Tabela 8** - Valores médios de resistência à tração paralela às fibras do bambu ( $\pm$  desvio-padrão), em MPa.

Trat.	Resistência à tração (MPa)			
	Com nó		Sem nó	
BVST	69,3 $\pm$ 12,6	Cb	122,2 $\pm$ 44,4	Ca
BVTA	90,6 $\pm$ 16,4	Ca	109,1 $\pm$ 17,4	Ca
BVTO	79,5 $\pm$ 17,9	Ca	90,9 $\pm$ 12,4	Ca
BAST	88,5 $\pm$ 3,7	Cb	168,1 $\pm$ 4,0	Ba
BATA	119,2 $\pm$ 16,5	Bb	172,2 $\pm$ 29,3	Aa
BATO	120,0 $\pm$ 5,3	Aa	159,9 $\pm$ 13,9	Ba

As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 5%.

O tratamento térmico com óleo na amostra de bambu amarelo com nó (BATO) obteve maior valor de resistência à tração. No caso das amostras de bambu verde sem nó, o maior valor médio de resistência à tração foi observado no tratamento térmico com água (BATA). Algumas médias apresentaram grande variação devido à dificuldade de confecção com mesmas dimensões e o travamento dos corpos-de-prova nas garras da máquina de ensaio.

Na maioria dos tratamentos testados (Tabela 8), os corpos-de-prova sem nó apresentaram maiores valores de resistência a tração. De acordo com Lima Jr. et al. (2000), a tensão de ruptura à tração do bambu na região do nó, para a mesma espécie, chegou a ser aproximadamente um terço do valor obtido com o bambu sem nó.

**Tabela 9** - Valores médios de resistência à tração na flexão do concreto com diferentes materiais e tratamentos de armação ( $\pm$  desvio-padrão), em MPa.

Dias	Tratamentos						
	MAE	MEX	MBO	MBS	MBV	MBA	PSA
7	24,2 $\pm$ 2,3 Aa	20,4 $\pm$ 1,5 Db	12,4 $\pm$ 1,1 Dc	13,7 $\pm$ 1,3 Cc	12,7 $\pm$ 2,8 Cc	13,5 $\pm$ 1,2 Dc	15,6 $\pm$ 0,3 Dc
14	25,3 $\pm$ 2,2 Aa	23,9 $\pm$ 1,2 Ca	18,8 $\pm$ 0,4 Cb	15,7 $\pm$ 1,2 Bc	14,1 $\pm$ 1,9 Cc	17,1 $\pm$ 1,3 Cb	17,8 $\pm$ 0,7 Cb
21	26,4 $\pm$ 1,0 Aa	27,5 $\pm$ 0,6 Ba	20,8 $\pm$ 0,6 Bc	17,9 $\pm$ 0,7 Ad	17,0 $\pm$ 0,4 Bd	23,5 $\pm$ 1,3 Bb	19,5 $\pm$ 0,6 Bc
28	28,1 $\pm$ 0,4 Ab	31,7 $\pm$ 1,2 Aa	25,3 $\pm$ 0,6 Ac	19,0 $\pm$ 0,5 Ad	20,5 $\pm$ 0,9 Ad	26,7 $\pm$ 2,3 Ac	22,0 $\pm$ 1,6 Ad

As médias seguidas de letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott, a 5%.

Os valores médios e seus respectivos desvios padrões para resistência à tração na flexão das placas de argamassa armada com os diferentes tratamentos de armação estão dispostos na Tabela 9. Em todos os corpos de prova avaliados observou-se que a fissura se localizou entre os apoios inferiores do dispositivo de ensaio.

Os resultados dos tratamentos MEX (31,7 $\pm$ 1,2 MPa) e MAE (28,1 $\pm$ 0,4 MPa) obtiveram os maiores valores médios de resistência à tração na flexão do concreto, devido ao fato de o aço ser um material com maior resistência a esforços, e por possuir maior aderência ao concreto. A resistência média obtida é superior à mínima exigida pela NBR 11173 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1990), que especifica a resistência mínima de compressão simples da argamassa em 25 MPa.

Dentre as malhas alternativas para confecção da placa de argamassa armada com bambu avaliadas, os tratamentos térmicos com água e óleo (MBA e MBO) apresentaram valores estatisticamente superiores quando comparados aos outros tratamentos testados, evidenciando uma melhora na aderência do bambu com a argamassa.

Em relação aos valores médios de resistência à tração na flexão do concreto ao longo do período avaliado, observa-se que os tratamentos MBA e MBO obtiveram maiores variações ( $\approx$ 13,0 MPa) até os 28 dias (Tabela 9). Em todos tratamentos avaliados, a resistência à tração na flexão do concreto foi estatisticamente superior ( $P < 0,05$ ) ao final do período experimental. No tratamento MAE, não houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) ao longo do período avaliado.

De acordo com estudos de Inforçato e Pimentel (2008), o ensaio de resistência à compressão simples apresentou resistência média aos 7 dias de 26,3 MPa e aos 28 dias de 33,7 MPa. Ainda segundo NBR 7215 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996), e NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2015), ensaios realizados sobre as características dos cimentos CP-32, trazem tensões de ruptura de 27,7 MPa aos 7 dias e 33,6 MPa aos 28 dias.

## 4 CONCLUSÃO

Os tratamentos térmicos (bio-óleo e água) realizados no bambu apresentaram visualmente melhorias contra a deterioração feita pelo ataque de microrganismos, diminuindo assim a incidência visual desta biodegradação em relação ao bambu utilizado sem tratamento.

No geral, a resistência à compressão das amostras de bambu verde e amarelo sem e com nó foram semelhantes. Por outro lado, na maioria dos tratamentos testados, as amostras de bambu sem nó apresentaram maiores valores de resistência a tração. O tratamento térmico com bio-óleo na amostra de bambu amarelo com nó (BATO) obteve maior valor de resistência à tração. No caso das amostras de bambu verde sem nó, o maior valor médio de resistência à tração foi observado no tratamento térmico com água (BATA).

Os melhores resultados da resistência à tração na flexão dos painéis de argamassa armada foram observados nos tratamentos com malha quadrada (MAE) e hexagonal de aço (MEX). Todavia, os tratamentos térmicos com bio-óleo (MBO) e água (MBA) apresentaram valores médios de resistência a flexão superiores à testemunha (PSA).

Sendo a argamassa armada um material semelhante ao concreto armado, no tocante à tecnologia e aplicações, podendo ser utilizada, com armação de bambu tratada termicamente com bio-óleo e água, na construção de pisos de instalações animais, parede de reservatório e silos, habitações rurais, dentre outros, explorando por completo todas as suas potencialidades.

## 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEMIG, FAPEMAT, CAPES e CNPq pelo apoio financeiro à pesquisa.

## 6 REFERENCES

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto: preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11173**: Projeto e execução de argamassa armada. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Resistência a Compressão do Cimento Portland. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

BHATEWARA, V. V.; AHIRE, D. G.; AGRAWAL, N. G. Use of ferrocement as construction and repairing material. **International Research Journal of Engineering and Technology IRJET**, Nova Déli, v. 5, n. 1, p. 1452–1456, 2018.

BRITO, F. M. S.; PAES, J. B.; DA SILVA OLIVEIRA, J. T.; ARANTES, M. D. C.; FANTUZZI NETO, H. Caracterização Anatômica e Física do Bambu Gigante (*Dendrocalamus giganteus Munro*). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 4, p. 559–566, 2015.

BUI, Q. B.; GRILLET, A. C.; TRAN, H. D. A Bamboo Treatment Procedure: Effects on the Durability and Mechanical Performance. **Sustainability**, Basel, v. 9, n. 9, p. 1444, 2017.

CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. **Utilização de fibras vegetais no fibrocimento e no concreto-fibra**. Rio de Janeiro: BNH-DEPEA, 1982.

CHAWANA, P. Bamboo: an alternative raw material for wood and wood-based composites. **Journal of Materials Science Research**, Toronto, v. 2, n. 2, p. 90, 2013.

CHITHAMBARAM, S. J.; KUMAR, S. Flexural behaviour of bamboo based ferrocement slab panels with flyash. **Construction and Building Materials**, Porto, v. 134, p. 641–648, 2017.

DE OLIVEIRA, G. A. S.; KARNOPP, E. A política habitacional brasileira e a habitação rural: um estudo preliminar sobre Santa Cruz do Sul, RS-Brasil. **Ágora**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 109–121, 2015.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. **Determinação das propriedades dos bambus das espécies *Mosó*, *Matake*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tigoara* e *Dendrocalamus giganteus* para utilização na engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: PUC Rio, 2001. 53 p.

GRENIER, D.; BAILLÈRES, H.; MÉOT, J. M.; LANGBOUR, P.; LANVIN, J. D. A study of water loss and oil absorption during oleothermic treatment of wood. In: EUROPEAN CONFERENCE ON WOOD MODIFICATION, 1., 2003, Ghent, Bélgica. **Proceedings**. Ghent, ECWM, 2003. p. 23–32.

GUERRA-GARCÍA, L. I. N. A.; DA COSTA-BAÊTA, F.; FERREIRA-TINÔCO, I. D. F.; OSORIO-SARAZ, J. A.; OSORIO-HERNANDEZ, R. Evaluation of mechanical behavior of three kinds of panels ferrocement sandwich type for rural housing construction. **Dyna**, Medellín, v. 80, n. 181, p. 210–218, 2013.

GUERRA-GARCÍA, L. M.; FERREIRA-TINÔCO, I. D. F.; OSORIO-SARAZ, J. A.; SOUZA, C. F.; DA COSTA-BAÊTA, F.; OSORIO-HERNÁNDEZ, R. Projectual synthesis of rural villages. Proposal of urban basic features. **Bitácora Urbano Territorial**, Medellín, v. 25, n. 1, p. 75–87, 2015.

- INFORÇATO, B. G.; PIMENTEL, L. L. Avaliação de elementos de argamassa armada executado com resíduos da construção civil. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA PUC, 13, 2008, Campinas. **Anais**. Campinas: PUC - Campinas, 2008. IC07499.
- KUMAR, G.; ASHISH, D. K. Review on feasibility of bamboo in modern construction. **International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE)**, Teerã, p. 66-70, 2015.
- LEPAGE, E. S. Método sugerido pela IUFRO para ensaios de campo com estacas de madeira. **Preservação de Madeiras**, São Paulo, v. 1, p. 205-216, 1970.
- LI, T.; CHENG, D. L.; WALINDER, M. E.; ZHOU, D. G. Wettability of oil heat-treated bamboo and bonding strength of laminated bamboo board. **Industrial Crops and Products**, North Dakota, v. 69, p. 15-20, 2015.
- LIMA JR., H. C.; DIAS, A. A. Vigas mistas de madeira de reflorestamento e bambu laminado colado: análise teórica e experimental. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 519-524, 2001.
- LIMA JR, H. C.; DALCANAL, P. R.; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. Características mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*: análise teórica e experimental. In: Barbosa, N.P.; Swamy, R.N. and Lynsdale, C. **Sustainable construction into the next millennium: Environmentally friendly and innovative cement based materials**. João Pessoa: SNT, 2000. p. 394-406.
- LOPES, W. G. R.; FREIRE, W. J.; FERREIRA, G. C. S. Ensaios de arrancamento e de empuxamento aplicados a taliscas de bambu encravadas em corpos-de-prova e solo-cimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 6, p. 505-510, 2002.
- LUNA, P.; LOZANO, J.; TAKEUCHI, C. Determinación experimental de valores característicos de resistencia para *Guadua angustifolia*. Maderas. **Ciencia y Tecnología**, Concepción, v. 16, n. 1, p. 77-92, 2014.
- MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L.; CLARO NETO, S.; AZEVEDO, E. C. Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 23, n. 2, p. 201-205, 2013.
- MELISA, V. G.; WALSH, C.; BARROS, M. V. Evaluación cuali-cuantitativa de aislaciones térmicas alternativas para viviendas: El caso de la agricultura familiar. **Revista INVI**, Santiago, v. 31, n. 86, p. 89-117, 2016.
- PEREIRA NETO, J. S.; MINÁ, A. J.; FURTADO, D. A.; WB, J. Aplicação do bambu nas construções rurais. **Revista Educação Superior Agrícola**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p. 67-77, 2009.
- SÁNCHEZ, M. M. T.; ESPUNA, M. J. A.; ROUX, G. R. S. El bambú como elemento estructural: la especie *Guadua Amplexifolia*. **Nova Scientia**, León, v. 8, n. 17, p. 657-677, 2016.
- SHEIKH, T. R.; KHAN, M. K. A. Review on Strengthening of RC Short Columns with Ferrocement Jackets. **International Journal for Science and Advance Research In Technology**, Ahmedabad, v. 3, n. 4, p. 358-360, 2017.