

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA  
DO BAMBU *DENDROCALAMUS ASPER* TRATADO E NÃO  
TRATADO COM COMPOSTOS DE BORO**

**LETÍCIA SILVA MARTINS**

Rio Verde, GO

2024

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA  
DO BAMBU *DENDROCALAMUS ASPER* TRATADO COM  
COMPOSTOS DE BORO**

**LETÍCIA SILVA MARTINS**

Trabalho de curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Michell Macedo Alves

Rio Verde, GO

Agosto, 2024

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

M386a Martins, Leticia  
Análise comparativa da resistência mecânica do bambu dendrocalamus asper tratado e não tratado com compostos de boro / Leticia Martins ; orientador Michell Macedo Alves. -- Rio Verde, 2024.  
57 f.

TCC (Engenharia Civil) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2024.

1. Ácido bórico. 2. Bambu tratado. 3. Bórax. 4. Modos de falhas. 5. Resistência estrutural I. Alves, Michell Macedo, orient. II. Título.



## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

### PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional

GRZ)\*RLDQR5ZZ)\*RLDQRVHPUHVVDFLPHQWRGHGLUHLWRVDXWRUDLVRQIRUPHSHUPLVV¥RDVVLQDGDDEDL[RSUDU[QVGH

OHLWXUDGRZQORDGHLPSUHVVV¥RDW~WXORGHGLYXOJD©¥RGDSURGX©¥RW«FQLFRFLHQW`[FDQRZ)\*RLDQR

#### IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- |   |                          |                                |
|---|--------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado)                       | <input type="checkbox"/> | Artigo científico              |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado)                 | <input type="checkbox"/> | Capítulo de livro              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> | Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação)                        | <input type="checkbox"/> | Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Letícia Silva Martins

Matrícula:

2019102200840446

Título do trabalho:

Análise comparativa da resistência mecânica do bambu dendrocalamus asper tratado e não tratado por compostos de

#### RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não  Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:

O documento está sujeito a registro de patente? Sim  não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim  Não

#### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

ô4XHRGRFXPHQWR«VHXWUDEDOKRRULJLQDOGHW«PRVGLUHLWRVDXWRUDLVGDSURGX©¥RW«FQLFRFLHQW`\_FDHQ¥RLQIULQJHRVGLUHLWRVGH  
qualquer outra pessoa ou entidade;

- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais V¥RGHWHUFHLURVHVW¥RFODUDPHQWHLGHQWL\_FDGRVHUHFRQKHFLGRVQRWH[WRRXFRQWH%GRGRGRFXPHQWRHQWUHJXH
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho

Rio Verde - GO

LDQDQFLDGRRXDSRLDGRSRURXWUDLQVWLWXL©¥RTXHQ¥RRZQVWLWXWR)HGHUDOGH(GXFD©¥R&L-QFLDH7HFQRORJLD\*RLDQR

Local

11/9/2024  
Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

MICHELL  
ALVES:04050331

Assinado de forma  
MICHELL  
ALVES:0405  
2024.09.11

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 14/2024-CCTEDI-RV/GEPTNM-RV/DE-RV/CMPRV/IFGOIANO

## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Ao(s) 6 dia (s) do mês de setembro de 2024, às 13 horas, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes: Prof. Dr. Michell Macedo Alves (orientador), Prof. Dr. Charlys Roweder (membro interno) e Prof. Msc. Taline Carvalho Martins (membro interno) para examinar o Trabalho de Curso intitulado "Análise comparativa da resistência mecânica do bambu *Dendrocalamus Asper* tratado e não tratado com compostos de boro." da estudante Letícia Silva Martins, Matrícula nº 2019102200840446 do Curso de Engenharia Civil do IF Goiano – Campus Rio Verde. A palavra foi concedida à estudante para a apresentação oral do TC, houve arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Após tal etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO da estudante. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

### Observação:

() O (a) estudante não compareceu à defesa do TC.

Documento assinado eletronicamente por:

- Flavio Hiochio Sato, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/09/2024 13:53:36.
- Charlys Roweder, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/09/2024 13:52:02.
- Taline Carvalho Martins, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/09/2024 13:36:49.
- Michell Macedo Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/09/2024 13:26:10.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 11/09/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 632664  
Código de Autenticação: 060ec96508



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIOVERDE/GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Pró-Reitoria de Pesquisa pela importante contribuição financeira que possibilitou a realização deste experimento. Sem o apoio desta instituição, a concretização deste trabalho não teria sido possível.

Ao professor Michell, que me orientou no desenvolvimento do trabalho.

A minha família e amigos que fizeram parte dessa jornada, que acreditaram e me incentivaram.

A minha mãe, que me apoiou e ajudou nos momentos de necessidade e contribuiu indiretamente para o meu desenvolvimento acadêmico.

A minha irmã, por todos os ensinamentos e apoio.

Ao meu pai, que sempre esteve ao meu lado me incentivando durante essa trajetória e teve papel ativo na parte experimental deste estudo. Seu incentivo e ajuda foram fundamentais para alcançar meus objetivos.

Não posso deixar de mencionar meu namorado, cuja presença e apoio inabalável foram cruciais em cada passo da minha vida. Seu incentivo e suporte, especialmente nos momentos mais difíceis, foram uma fonte constante de força e motivação.

A todos que me acolheram de alguma forma e fizeram parte dessa trajetória.

## RESUMO

MARTINS, S. L. **Análise comparativa da resistência mecânica do bambu *dendrocalamus asper* tratado com compostos de boro.** 2024. 54p Monografia (Curso de Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2024.

O bambu, material amplamente estudado devido à sua alta resistência mecânica e baixo impacto ambiental, enfrenta desafios de durabilidade, especialmente contra agentes biológicos e condições adversas. Este estudo avalia o efeito do tratamento químico com compostos de boro (uma mistura de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) e bórax ( $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$ )) na resistência mecânica do bambu *Dendrocalamus asper*, visando aumentar sua durabilidade e viabilidade como material construtivo sustentável. A metodologia envolveu a coleta e tratamento de hastes de bambu, pelo método de substituição de seiva, em que o bambu foi imerso na solução por 4 dias e secagem por 14 dias, com posterior realização de ensaios de tração, compressão e cisalhamento, conforme a NBR 16828-2:2020. Utilizou-se o método de análise de variância (ANOVA) para avaliar se o tratamento químico influenciou de forma significativa a resistência mecânica do bambu. Os resultados indicam que o bambu tratado apresentou um aumento significativo na resistência à compressão (44,7%) e ao cisalhamento (25,3%) em comparação ao bambu in natura, enquanto a resistência à tração apresentou uma variação negativa de 4%. Essas evidências sugerem que o tratamento com compostos de boro afeta substancialmente a resistência à compressão e ao cisalhamento, tornando o bambu uma alternativa viável para aplicações estruturais que exigem essas propriedades.

**Palavras-chave:** ácido bórico, bambu tratado, bórax, modos de falhas, resistência estrutural.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características das espécies ideais para a construção.....	14
<b>Tabela 2.</b> Classificação das estimativas quanto à precisão.....	42
<b>Tabela 3.</b> Resistência a tração do bambu in natura.....	43
<b>Tabela 4.</b> Resistência a tração do bambu tratado.....	44
<b>Tabela 5.</b> Resistência a compressão do bambu in natura.....	45
<b>Tabela 6.</b> Resistência a compressão do bambu tratado.....	46
<b>Tabela 7.</b> Resistência ao cisalhamento do bambu in natura.....	47
<b>Tabela 8.</b> Resistência ao cisalhamento do bambu tratado.....	49
<b>Tabela 9.</b> Tipos de falhas no ensaio de tração.....	52

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribuição geográfica do bambu.....	13
<b>Figura 2.</b> Morfologia do bambu.....	16
<b>Figura 3.</b> Cortes do projeto da cúpula do Anfiteatro Prof. Junito Brandão – PUC, Rio de Janeiro.....	17
<b>Figura 4.</b> Sangkep, Indonésia.....	18
<b>Figura 5.</b> Mapa do Campus Rio Verde.....	30
<b>Figura 6.</b> Touceira bambu <i>Dendrocalamus Asper</i> .....	31
<b>Figura 7.</b> Químicos utilizados na solução.....	33
<b>Figura 8.</b> Tratamento químico.....	34
<b>Figura 9.</b> Corpo de prova para ensaio de compressão.....	35
<b>Figura 10.</b> Corpo de prova para ensaio de tração.....	36
<b>Figura 11.</b> Corpo de prova para ensaio de cisalhamento.....	36
<b>Figura 12.</b> Ensaio de tração.....	37
<b>Figura 13.</b> Ensaio de compressão.....	38
<b>Figura 14.</b> Posição das chapas no corpo de prova para ensaio de cisalhamento.....	39
<b>Figura 15.</b> Ensaio de cisalhamento.....	39
<b>Figura 16.</b> Representação de uma coroa circular.....	41
<b>Figura 17.</b> Tipos de falhas em amostras de ensaio de tração no bambu.....	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Objetivo geral.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO BAMBU.....</b>	<b>13</b>
<b>2.2 APLICAÇÃO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>16</b>
<b>2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO BAMBU.....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 TRATAMENTO QUÍMICO DO BAMBU.....</b>	<b>24</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Coleta e local do tratamento.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Tratamento.....</b>	<b>31</b>
<b>3.3 Corpos de prova: Bambu tratado e não tratado.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4 Ensaios de tração, compressão e cisalhamento.....</b>	<b>37</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Resistência a tração.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Resistência a compressão.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 Resistência ao cisalhamento.....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 Análise visual da deformação dos corpos de prova.....</b>	<b>51</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por materiais de construção sustentáveis e de baixo custo tem ganhado destaque nas últimas décadas, especialmente em face da crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável e a preservação ambiental (ALVES, 2019). Entre as alternativas promissoras, o bambu se apresenta como um recurso natural renovável, de alta eficiência econômica e baixo impacto ambiental, que pode substituir materiais convencionais, como o aço e o concreto, em diversas aplicações na construção civil (BARBOSA; MARTINS, 2017; SHAN et al., 2020).

Historicamente, o bambu tem sido utilizado em países tropicais e subtropicais, especialmente na Ásia e na América Latina, para a construção de casas, templos e até mesmo para a fabricação de móveis e artesanato (MATSUOKA, 2011; LEITE et al., 2023). No entanto, no Brasil, apesar de sua abundância e diversidade de espécies, o uso do bambu na construção ainda é incipiente, devido à falta de conhecimento tecnológico e científico específico para esse material (ALVES, 2019).

Com o avanço dos estudos sobre as propriedades do bambu, especialmente suas características físicas e mecânicas, como a alta resistência à compressão e a excelente relação resistência/peso, tem-se observado um crescente interesse na aplicação desse material em sistemas estruturais, como pilares, vigas e coberturas (LUDWIG; SOUZA, 2019). Além disso, o bambu contribui significativamente para a absorção de dióxido de carbono, oferecendo uma solução viável para a construção de habitações sociais sustentáveis (PEREIRA; BERALDO, 2016).

Porém, um dos principais desafios na utilização do bambu como material de construção é sua baixa durabilidade natural, sendo vulnerável a ataques de organismos xilófagos e à degradação por fatores abióticos (HANDANA et al., 2020; BAMBI et al., 2019). Nesse sentido, o tratamento químico com compostos de boro, como o ácido bórico e o bórax, tem se mostrado uma solução eficaz para aumentar a durabilidade do bambu, protegendo-o contra fungos e insetos, sem causar impactos negativos ao meio ambiente (LIU, 2022).

Dado esse contexto, o presente estudo busca realizar uma análise comparativa da resistência mecânica do bambu *Dendrocalamus asper*, tratado quimicamente com ácido bórico e bórax, em relação ao bambu não tratado. Este estudo é relevante para avaliar o potencial desse material como uma alternativa sustentável na construção civil, visando aumentar a durabilidade e a resistência estrutural das edificações construídas com bambu.

## 1.1 Objetivo geral

Comparar a resistência mecânica do bambu *Dendrocalamus asper* tratado com a mistura de ácido bórico com bórax em relação ao bambu não tratado.

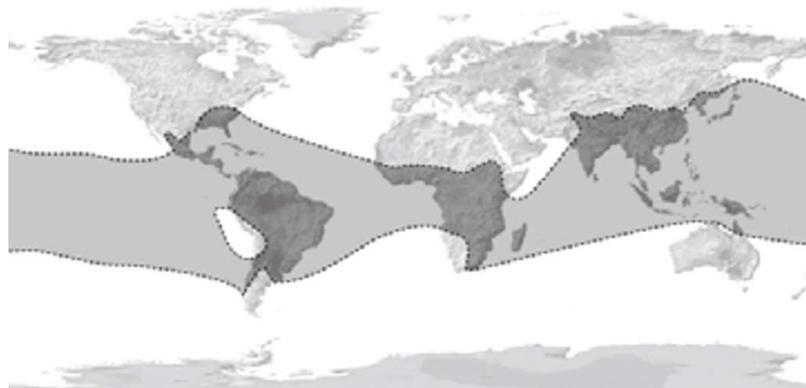
## 1.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar as propriedades físicas e mecânicas do bambu *Dendrocalamus asper*.
- ✓ Avaliar os efeitos do tratamento químico com a mistura de ácido bórico com o bórax na resistência mecânica do bambu.
- ✓ Comparar a resistência à tração, compressão e ao cisalhamento do bambu tratado e não tratado.
- ✓ Analisar e classificar as falhas encontradas em amostras de tração bambu *Dendrocalamus asper* pós ensaio, a partir da ASTM 143-14.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO BAMBU

O bambu é uma planta altamente adaptável, encontrada em todos os continentes, exceto na Antártida, e prospera em diversos climas e solos (ALVES, 2019). Com cerca de 1.200 espécies catalogadas em mais de 90 gêneros, sua diversidade é ampla (Figura 1), especialmente em regiões tropicais e subtropicais (VOGTLANDER; VAN DER LUGT, 2015). As espécies *Dendrocalamus* e *Bambusa*, originárias da Ásia, foram introduzidas no Brasil com a imigração portuguesa, enquanto a *Phyllostachys*, da China, chegou com imigrantes asiáticos (OLIVEIRA, 2013).



**Figura 1.** Distribuição geográfica do bambu.  
Fonte: VOGTLANDER; VAN DER LUGT, 2015.

Os bambus podem ser classificados em herbáceos, usados principalmente como ornamentais, e lenhosos, ideais para aplicações estruturais devido à sua resistência mecânica. No Brasil, a maioria das espécies nativas pertencem ao grupo ornamental, entretanto, o país também abriga espécies lenhosas nativas, como a *Guadua*, nativa das Américas e presente em regiões tropicais, ao contrário das espécies ornamentais que prosperam melhor em climas temperados e tendem a crescer de forma isolada. Entre as espécies nativas, algumas são popularmente conhecidas como “taboca”, embora seu uso seja menos expressivo em comparação às espécies exóticas introduzidas (ALVES, 2019).

O bambu se destaca pela rápida taxa de crescimento e alta produtividade, atingindo sua altura máxima em poucos meses, o que o torna uma opção economicamente viável para cultivo em comparação com outras plantas como o eucalipto (REUBENS, 2010). Sua capacidade de adaptação a diferentes condições de solo e clima reforça seu potencial agrônomo, com rendimentos que podem alcançar até 20 toneladas por hectare (RIBAS, 2010). Algumas espécies de bambu são capazes de atingir alturas entre 15 e 30 metros em apenas 2 a 4 meses, alcançando a maturidade completa entre 3 e 8 anos (MATSUOKA, 2011).

A escolha da espécie de bambu é crucial para determinar seu uso final, uma vez que diferentes espécies apresentam características distintas em termos de altura do colmo e propriedades mecânicas. Para aplicações que demandam resistência estrutural ou produção artesanal, é fundamental selecionar espécies que não apenas cresçam significativamente, mas que também suportem as forças aplicadas em diversas situações. De acordo com Rios e Souza (2022), as espécies de bambu mais adequadas para esses propósitos são *Dendrocalamus giganteus*, *Dendrocalamus asper*, *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens*. Na Tabela 1, é possível analisar as características de cada uma das espécies citadas conforme Caeiro (2010).

**Tabela 1.** Características das espécies ideais para a construção.

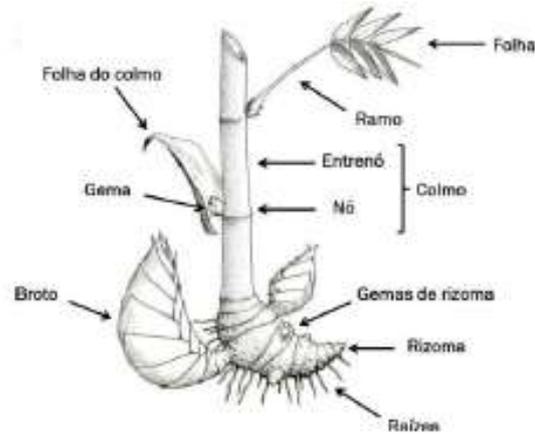
ESPÉCIE	DIMENSÕES	LOCAL	CONDIÇÕES P/ CULTIVO	UTILIZAÇÃO
<i>Dendrocalamus Giganteus</i>	Altura até 60 m; Diâmetro até 25 cm; Espessura entre 25 a 30 mm.	Tailândia, Índia, Sri Lanka, Bangladesh, Neal, Vietnã, China, Indonésia, Malásia, Filipinas e alguns locais do Brasil.	Clima tropical; Terrenos ricos em plantações até 1200 m de altitude; Temperatura mínima de -2°C.	Colunas e traves estruturais, produção de papel, mobiliário, aglomerados e derivados

<b><i>Dendrocalamus Asper</i></b>	Altura entre 20-30 m; Diâmetro até 20 cm; Espessura entre 11 e 20 mm	Tailândia, Vietnam, Malásia, Indonésia e Filipinas	Clima semiárido, sendo os terrenos adequados ricos e pesados, bem drenados e arenosos, em altitudes até aos 1500 metros. Pode resistir a temperaturas baixas até aos -3°C.	Construção de grandes estruturas comunitárias em zonas rurais, usado igualmente para mobiliário
<b><i>Guadua Angustifolia</i></b>	Altura até 30 m; Espessura entre 1,5 e 2 mm	Colômbia, Equador, Costa Rica, floresta Amazônica e Mato Grosso no Brasil, Panamá e México	Cresce em terrenos entre os 900 e 1600 m de altitude, com temperaturas que oscilam de 20°C a 28°C e com humidades relativas de 80%. pH do solo ligeiramente ácido, terreno poroso e profundo	Construção de casas e infraestruturas, reforço de paredes de terra e concreto.
<b><i>Phyllostachys Pubescens</i></b>	Alturas de 20 metros; Diâmetro de 18cm.	China ,Corea e Vietnã	Terrenos diferentes até alturas de 1500 metros e resiste a temperaturas de -5°C	Estruturas pesadas na construção.

Fonte: Adaptado CAEIRO, 2010; PEREIRA; BERALDO, 2016.

Entre as diversas espécies de bambu, a *Dendrocalamus asper*, foco deste trabalho, se destaca por suas características impressionantes. Conhecida como bambu gigante, essa espécie, originária do sudeste asiático e introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses, pode atingir até 30 metros de altura e 30 centímetros de diâmetro na base dos colmos. Sua robustez e versatilidade fazem dela uma escolha popular para aplicações estruturais e na fabricação de produtos como móveis e utensílios (TOMBOLATO, GRECO; PINTO, 2012).

O bambu possui uma estrutura composta por rizomas subterrâneos, responsáveis pela reprodução vegetativa, e uma parte aérea que inclui colmos, folhas e ramificações (ALVES, 2019). Os rizomas interconectados formam um sistema que dá origem aos colmos, estruturas cilíndricas e ocas organizada em entrenós (Figura 2), conferindo ao bambu uma grande estabilidade estrutural e resistência mecânica, características ideais para uso na construção civil e fabricação de móveis (SOUZA, 2014; MARÇAL et al., 2011; QUINTERO, 2015).



**Figura 2.** Morfologia do bambu.  
Fonte: Suzuki (2014).

Os colmos são compostos por aproximadamente 50% de parênquima, 40% de fibras e 10% de tecidos de condução (vasos e tubos perfurados), com variações dependendo da espécie (QUINTERO, 2015). A camada externa densa dos colmos protege contra danos mecânicos e químicos. A geometria dos colmos, com diâmetro máximo na base e forma cônica, proporciona elevada resistência à tração e compressão, destacando o bambu como matéria-prima versátil e de alto valor econômico para diversas indústrias (MATSUOKA, 2011). A espécie *Dendrocalamus asper* é especialmente promissora devido a suas características superiores para aplicações estruturais.

Em resumo, o bambu se revela como uma planta de extraordinária adaptabilidade e valor econômico. Suas características físicas, como o rápido crescimento, a resistência dos colmos e a versatilidade de uso, tornam-no uma matéria-prima valiosa para diversas indústrias, particularmente na construção civil. A escolha da espécie adequada é crucial para maximizar os benefícios que o bambu pode oferecer, destacando-se a *Dendrocalamus asper* como uma das opções mais promissoras.

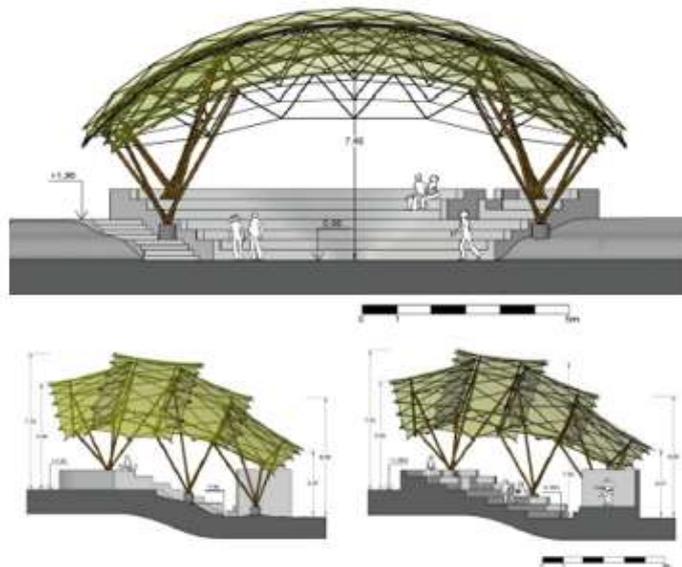
## 2.2 APLICAÇÃO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O uso do bambu na construção civil é uma prática milenar, especialmente em regiões da Ásia, como China, Japão e Índia, onde se desenvolveu significativamente ao longo dos séculos (LEITE et al., 2023). Na China, o bambu foi amplamente utilizado desde a dinastia Tang (618-907 d.C.), e no Japão, é tradicionalmente empregado em estruturas de casas e templos. Na Índia, destaca-se a aplicação do bambu em projetos modernos, como edifícios

resistentes a desastres naturais, além de seu uso histórico em monumentos como o Taj Mahal (LEITE et al., 2023).

Apesar de sua ampla utilização na Ásia, o bambu enfrenta desafios para se consolidar na construção civil no Brasil, que possui a maior diversidade de espécies da América Latina, com 137 espécies nativas (ALVES, 2019). A falta de normativas técnicas, escassez de fornecedores de mudas e de mão de obra especializada, além do preconceito cultural e a preferência por métodos construtivos tradicionais, dificultam sua adoção no país (MARÇAL et al., 2011; RIBAS, 2010; SOUZA, 2014)

No entanto, há iniciativas que buscam promover o uso do bambu no Brasil, como as pesquisas conduzidas pelo professor Khosrow Ghavami da PUC-RJ, que há mais de 30 anos explora o potencial de espécies como guadua, bambu-gigante e bambu-mossô para aplicações estruturais. A Lei do Bambu nº 12.484, sancionada em 2011, instituiu a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do bambu, um avanço para estimular seu uso no país (ALVES, 2019).



**Figura 3.** Cortes do projeto da cúpula do Anfiteatro Prof. Junito Brandão – PUC, Rio de Janeiro.  
Fonte: Alves, 2019.

Exemplos notáveis de projetos brasileiros que utilizam bambu incluem a cúpula do Anfiteatro Professor Junito Brandão, na PUC-Rio, construída com estrutura híbrida de bambu e arcos de flexão. Intencionalmente, o escritório Ibuku na Indonésia é conhecido por projetos como o Sangkep, um espaço polivalente de 330 m<sup>2</sup> com arcos de bambu de 15 metros de vão,

e o restaurante Ting XI Bamboo na China, projetado pelo VTN Architects, que utiliza colunas de bambu para suportar uma cobertura de 14 metros de largura (ALVES, 2019).



**Figura 4.** Sangkep, Indonésia.  
Fonte: Alves, 2019.

Esses projetos exemplificam o potencial do bambu como um material versátil, sustentável e economicamente viável para a construção civil. No entanto, para que esse potencial seja plenamente realizado, especialmente no Brasil, é necessário superar as barreiras culturais, técnicas e regulatórias que atualmente limitam sua adoção em larga escala. A expansão do uso do bambu na construção civil depende de um esforço conjunto entre governo, academia e setor privado para fomentar o desenvolvimento de técnicas construtivas, normativas e políticas públicas que incentivem o uso deste material.

### **2.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO BAMBU**

O bambu, na sua forma natural, é um material leve com uma resistência que pode ser comparada a materiais como o aço e o concreto, tornando-o uma alternativa promissora para diversos usos na construção civil (SHARMA et al., 2014). Contudo, sua aplicação é frequentemente limitada devido à sua natureza heterogênea e à variação nas seções e propriedades ao longo do colmo.

No estudo de Gauss et al. (2019), foram descritos procedimentos específicos para a realização dos ensaios mecânicos de tração, compressão e cisalhamento em colmos de bambu da espécie *Phyllostachys edulis*, conforme a norma ISO 22157. Para o ensaio de tração, as amostras são preparadas com nós incluídos e secas a uma umidade controlada, sendo fixadas

em uma máquina de tração equipada com garras adaptadas à geometria do bambu e extensômetros para medição de deformação. No ensaio de compressão, seções completas dos colmos são utilizadas e comprimidas axialmente, com o monitoramento da deformação e a aplicação gradual da carga até a fratura. Já no ensaio de cisalhamento, as amostras são preparadas com dimensões adequadas e testadas em uma máquina de ensaio de cisalhamento, onde a carga é aplicada uniformemente para avaliar a resistência ao cisalhamento. Em todos os ensaios, os resultados incluem a resistência correspondente e o módulo de elasticidade, com ênfase na influência dos nós na resistência mecânica do bambu.

Conforme a ABNT NBR 16828-2:2020, norma que especifica métodos de ensaio para determinar as propriedades físicas e mecânicas do colmo de bambu, os ensaios mecânicos de tração, compressão e cisalhamento do bambu seguem procedimentos específicos para garantir resultados precisos e padronizados. No ensaio de tração, corpos de prova são cortados das partes basal, média e topo dos colmos, com seções transversais retangulares preparadas paralelamente às fibras, e a resistência é calculada pela razão entre a carga máxima e a área da seção transversal. O ensaio de compressão utiliza corpos de prova sem nós, com cortes planos, e mede tanto a resistência quanto o módulo de elasticidade, aplicando carga continuamente. No ensaio de cisalhamento, corpos de prova são comprimidos entre placas rígidas, criando áreas de cisalhamento paralelas às fibras; a resistência é calculada pela razão entre a carga máxima e a soma das áreas de cisalhamento. Os resultados de cada ensaio são registrados junto com informações adicionais, como massa por volume e observações específicas sobre os corpos de prova.

Enquanto a NBR 16828-2:2020 especifica procedimentos para ensaios mecânicos do bambu, como tração, compressão e cisalhamento, adaptados ao contexto e espécies brasileiras. A ISO 22157, por sua vez, é uma norma internacional que define diretrizes mais amplas para as propriedades físicas e mecânicas do bambu em nível global. A principal diferença entre as duas normas está nos detalhes de execução e nas especificações dimensionais dos corpos de prova, com a ISO 22157 oferecendo um escopo mais abrangente, enquanto a NBR 16828-2 é mais ajustada às condições e práticas locais do Brasil.

As normas de padronização, como a ISO 22157 e a NBR 16828-2, são essenciais para a avaliação das propriedades mecânicas do bambu, pois estabelecem critérios consistentes e replicáveis para a preparação dos corpos de prova, execução dos ensaios, e interpretação dos resultados. Essas normas garantem a comparabilidade dos dados obtidos por diferentes pesquisadores e profissionais, promovendo a confiabilidade dos resultados e facilitando a aplicação do bambu na construção civil e em outras indústrias. Além disso, ao seguir

procedimentos padronizados, minimizam-se variações nos resultados causadas por metodologias divergentes, permitindo uma avaliação mais precisa das características mecânicas do bambu, como resistência à tração, compressão e cisalhamento.

Uma das propriedades mais notáveis do bambu é sua resistência à tração paralela às fibras, que pode variar de 40 MPa a 215 MPa, podendo alcançar até 370 MPa em algumas espécies (SCHARFENBERG, 2020). Esses valores destacam o bambu como um material competitivo em relação ao aço, especialmente quando se considera a relação entre sua resistência à tração e sua baixa densidade. Segundo Sharma et al. (2014), o processamento do bambu pode padronizar suas seções, o que é vantajoso para sua aplicação como elemento estrutural, aumentando sua competitividade frente a outros materiais.

Ensaio de tração realizados com a espécie *Dendrocalamus giganteus* por Ferreira (2007) citado em Alves (2019), revelaram uma resistência de 130 MPa, superior a várias madeiras brasileiras utilizadas em estruturas. Esse elevado desempenho se deve à orientação das fibras ao longo do eixo de crescimento do colmo, conferindo ao bambu uma resistência significativa, capaz de competir com materiais tradicionais como o aço MR50, que possui uma tensão de escoamento de 250 MPa (SCHARFENBERG, 2020; SOUZA, 2014).

A resistência à compressão paralela às fibras do bambu varia de 20 MPa a 120 MPa, sendo aproximadamente 30% inferior à sua resistência à tração na mesma direção (SCHARFENBERG, 2020; SOUZA, 2014). Esse comportamento é influenciado pela heterogeneidade do colmo, onde a camada externa, mais rica em fibras, apresenta maior resistência em comparação à camada interna, que contém mais tecidos parenquimatosos. Berndsen (2013) observou que a resistência à compressão aumenta conforme a posição vertical do colmo, com a porção externa sendo a mais resistente.

A estrutura anatômica do colmo do bambu exerce uma influência significativa em suas propriedades mecânicas, o que é essencial para sua aplicação em construções e sistemas hidráulicos. Um estudo realizado por Mota et al. (2017) explora como essas propriedades estão diretamente relacionadas com a estrutura atômica e macroscópica do bambu.

As propriedades mecânicas do bambu são fortemente influenciadas pela sua massa específica, que, por sua vez, depende de fatores como o conteúdo, diâmetro das fibras e espessura da parede das células. A densidade do bambu tende a ser maior perto da casca devido à presença de feixes vasculares menores e mais pesados, que possuem menor quantidade de células parenquimáticas e maior quantidade de fibras. Essa configuração resulta em uma maior resistência à compressão e tração nas regiões mais externas do colmo, o que é crucial para a utilização do bambu em aplicações estruturais (MOTA et al., 2017).

Além disso, a massa específica do bambu varia ao longo do comprimento do colmo, geralmente aumentando da base para o topo. Essa variação anatômica indica que as frações superiores do colmo podem oferecer melhores propriedades mecânicas, tornando-as mais adequadas para construções que exigem maior durabilidade e resistência (MOTA et al., 2017).

Nesse contexto, os métodos de tratamento do bambu desempenham um papel crucial na melhoria das suas propriedades mecânicas, complementando a variabilidade natural do material. O tratamento químico com NaOH, conforme descrito por Moura (2021), visa a remoção de extrativos indesejáveis, como hemicelulose e lignina, que podem comprometer a resistência das fibras de bambu. O estudo revela que a imersão das fibras em soluções de NaOH em concentrações variadas (10%, 15% e 20%) e por diferentes períodos de tempo resulta em melhorias significativas na resistência à tração das fibras. A condição ideal identificada foi uma solução de 13,42% de NaOH durante aproximadamente 14 horas, que proporcionou uma resistência superior a 120 MPa. Esse processo promove a degradação dos compostos que interferem na integridade das fibras, resultando em material mais robusto e adequado para aplicações exigentes.

Por outro lado, o tratamento térmico, como analisado por Colla (2010), é uma técnica que melhora as características físico-mecânicas do bambu por meio da exposição a altas temperaturas. Esse tratamento termorretifica o bambu, aumentando sua estabilidade dimensional e uniformidade. Ao contrário de métodos que utilizam produtos químicos, o tratamento térmico evita a utilização de substâncias nocivas ao meio ambiente, tornando o bambu mais sustentável e durável. O resultado é um material com melhores propriedades mecânicas e menor necessidade de manutenção.

Ambos os métodos, então, influenciam positivamente as propriedades mecânicas do bambu. No entanto, para avaliar a eficácia desses tratamentos em termos de desempenho estrutural, é fundamental considerar o módulo de elasticidade do bambu e suas variações nas propriedades mecânicas ao longo do colmo. O módulo de elasticidade do bambu na tração varia entre 5,5 GPa e 18 GPa, enquanto na compressão ele se situa entre 2,6 GPa e 20 GPa (PEREIRA; BERALDO, 2016). Em estudos com a espécie *Guadua angustifolia*, a resistência à compressão média foi de 29,48 MPa, com variações ao longo do colmo, indicando maior resistência na porção superior (JUNIOR, 2014).

Apesar das variações nas propriedades mecânicas, o bambu demonstra um potencial significativo para substituir materiais como madeira e concreto em determinadas aplicações estruturais. Sua resistência específica, quando comparada à densidade, sugere uma eficiência maior do que a do concreto, especialmente em peças curtas que podem suportar tensões

superiores a 50 MPa (SANTANA; KAMADA, 2015). Contudo, fatores como esbeltez e o risco de flambagem devem ser considerados ao utilizar o bambu em estruturas, assim como a localização dos nós, que pode impactar a resistência em ensaios de compressão (SCHARFENBERG, 2020; SOUZA, 2014).

O estudo realizado por Zheng et al. (2023), destaca as diferenças significativas entre o bambu e outros materiais, particularmente a madeira natural, no que diz respeito às propriedades mecânicas e à sustentabilidade dos compósitos de bambu e madeira de alto desempenho (SHBWC). Enquanto o bambu e seus compósitos, como o bambu laminado (LBL) e o bambu scrimber (BSM e BSS), têm um ciclo de fornecimento de matéria-prima muito mais curto, geralmente inferior a cinco anos, a madeira natural, como o Merbau, pode levar mais de 90 anos para atingir a maturidade.

Em termos de desempenho mecânico, o bambu scrimber de *Sinocalamus affinis* (BSS) demonstra uma resistência à tração de 255,47 MPa e uma resistência à flexão de 233,12 MPa, superando significativamente outros materiais, incluindo o Merbau, que, apesar de suas propriedades elevadas, é ultrapassado pelo BSS. Adicionalmente, o módulo de elasticidade do BSS é de 25,23 GPa, evidenciando uma performance superior em comparação com a madeira scrimber (WS), que, embora também apresente um desempenho notável, não alcança os mesmos níveis de resistência e elasticidade do bambu. Outro ponto crucial abordado no estudo é a incerteza nas propriedades mecânicas dos materiais. Os SHBWC com fibras de bambu mostram uma menor incerteza em relação aos compósitos de madeira, atribuída ao processo de densificação que melhora a resistência e a previsibilidade do material. Este padrão logarítmico de distribuição das propriedades mecânicas indica uma maior confiabilidade no desempenho dos SHBWC, em contraste com a variabilidade observada na madeira natural. Assim, o artigo conclui que, apesar dos avanços mecânicos e sustentáveis dos SHBWC, sua utilização ainda é limitada, sugerindo que uma exploração mais aprofundada dos compósitos de bambu pode ser crucial para reduzir as emissões de carbono na construção civil e preservar os recursos florestais (ZHENG et al., 2023)

Embora o artigo de Zheng et al. (2023) evidencie as notáveis propriedades mecânicas e a sustentabilidade superior dos compósitos de bambu em comparação com a madeira natural, é importante reconhecer que o bambu ainda enfrenta desafios específicos em termos de desempenho estrutural. Um aspecto crucial a ser considerado é a resistência ao cisalhamento do bambu, que se revela uma limitação significativa. A força de cisalhamento é paralela ao sentido das fibras, que são coladas entre si apenas por lignina, resultando em menores resistências. Santos e Madalosso (2020) apontam que o cisalhamento é um dos

pontos fracos do bambu, sendo especialmente problemático em estruturas onde fissuras podem ocorrer, expondo o material a intempéries e ação de insetos. Em testes realizados por Santos e Madalosso (2020), foi observado que a resistência ao cisalhamento do bambu varia dependendo do tipo de esforço solicitado. O cisalhamento transversal às fibras resulta em resistências em torno de 30% da resistência à flexão, enquanto o cisalhamento longitudinal apresenta resistências ainda menores, em torno de 15% da resistência à compressão.

A degradação do bambu, causada por agentes biológicos, afeta diretamente suas propriedades mecânicas, comprometendo seu desempenho estrutural e durabilidade. Estudos como o de Gauss (2020), indicam que esses agentes podem causar uma deterioração substancial da estrutura lignocelulósica do bambu, resultando em uma diminuição significativa de sua resistência à compressão, flexão e tração. A ação dos fungos, por exemplo, pode levar à fragilização das fibras do bambu, essenciais para sua capacidade de suportar cargas e resistir a tensões. Essa degradação não só reduz a integridade estrutural do bambu, mas também acelera a ocorrência de falhas estruturais prematuras, tornando-o inadequado para aplicações que exigem alta resistência e longevidade. Em resposta a esses desafios, métodos de tratamento preservativo se mostram cruciais. Técnicas como o deslocamento de seiva e a imersão em soluções preservativas ajudam a proteger o bambu contra a ação de agentes biológicos e a manter suas propriedades mecânicas. O tratamento adequado não só preserva a integridade estrutural do material, mas também pode melhorar suas características mecânicas, garantindo que o bambu continue sendo uma opção viável e sustentável para diversas aplicações. Portanto, a relação entre degradação e propriedades mecânicas do bambu é fundamental para compreender sua eficácia e longevidade em aplicações estruturais, como evidenciado pelo tratamento preservativo.

Dado que a degradação do bambu e sua preservação são essenciais para manter suas propriedades mecânicas, outro fator crucial que impacta a resistência do bambu é o seu teor de umidade. A presença excessiva de umidade no bambu não só facilita a ação de agentes biológicos, como fungos e insetos, mas também compromete diretamente sua resistência ao cisalhamento. Santos e Madalosso (2020) destacam que a resistência ao cisalhamento do bambu diminui com o aumento do teor de umidade, evidenciando a importância da secagem adequada. Portanto, para garantir que o bambu mantenha suas propriedades mecânicas e evite a degradação prematura, a gestão do teor de umidade é fundamental. A secagem adequada não apenas contribui para a preservação do bambu contra danos biológicos, mas também é crucial para otimizar seu desempenho estrutural e durabilidade.

## 2.4 TRATAMENTO QUÍMICO DO BAMBU

Os tratamentos químicos para preservação do bambu são amplamente reconhecidos por sua eficácia superior em comparação com os tratamentos não químicos. Eles não apenas oferecem proteção contra ataques de insetos e fungos, mas também aumentam a durabilidade do material. No entanto, um tratamento químico ideal deve ter uma concentração ótima que seja tóxica para os organismos invasores, mas segura para humanos e animais. A aplicação deve garantir que o produto penetre adequadamente no material, sem ser eliminado pela umidade proveniente do solo ou das chuvas. Os materiais utilizados nos tratamentos químicos podem ser oleosos, hidrossolúveis ou oleossolúveis (MATSUOKA, 2011).

Tratamentos químicos convencionais frequentemente utilizam substâncias tóxicas como cobre, arsênio e cromo. Estes compostos têm o potencial de se acumular no solo e na água, resultando em contaminação ambiental e impactando a qualidade dos ecossistemas. A lixiviação desses metais pesados ao longo do tempo pode comprometer a saúde das águas subterrâneas e superficiais, gerando impactos adversos duradouros. A degradação desses produtos químicos pode resultar na formação de substâncias nocivas adicionais, complicando ainda mais os impactos ambientais (FLAVIA, 2024; GAUSS, 2020).

Tratamentos como o N-metilol de acrilamida (NMA), aumentam a resistência mecânica do bambu, elevando o módulo de ruptura de 130 MPa para 220 MPa. Contudo, a polimerização do NMA pode resultar em resíduos tóxicos que, se não geridos adequadamente, podem contaminar o solo e os corpos d'água, afetando negativamente a fauna e a flora (FLAVIA, 2024; GAUSS, 2020).

Tratamentos que combinam cera de parafina e ácido esteárico melhoram a estabilidade dimensional do bambu, mas a cera de parafina, derivada do petróleo, possui implicações ambientais significativas relacionadas à sua extração e processamento. A dependência de produtos baseados em petróleo não é sustentável a longo prazo, contribuindo para a degradação ambiental (FLAVIA, 2024; GAUSS, 2020).

O uso de acetato de vinila e metacrilato de metila tem mostrado eficácia na melhoria das propriedades do bambu. No entanto, esses compostos podem ser prejudiciais ao meio ambiente se não tratados adequadamente após a aplicação, levantando preocupações sobre sua toxicidade e capacidade de causar contaminação em ecossistemas locais (FLAVIA, 2024; GAUSS, 2020).

Em contraste, o ácido cítrico é destacado por sua maior compatibilidade ambiental. Embora sua eficácia possa ser inferior em comparação com outros tratamentos químicos em termos de resistência mecânica, o ácido cítrico é considerado menos tóxico e, portanto, representa uma opção mais sustentável. Sua utilização alinha-se com a crescente demanda por práticas de construção mais ecológicas e sustentáveis (FLAVIA, 2024; GAUSS, 2020).

Outro tratamento relevante é o octaborato de sódio tetrahidratado (OST). Este preservativo é considerado menos tóxico em comparação com outros produtos químicos usados na preservação de madeira, mas a liberação de boro no meio ambiente pode causar contaminação, especialmente em ecossistemas aquáticos. Embora o OST ofereça proteção eficaz contra organismos xilófagos, a pesquisa sugere que seu uso deve ser monitorado para equilibrar a eficácia com a proteção dos ecossistemas locais (FLAVIA, 2024; GAUSS, 2020).

No Brasil, os tratamentos mais comuns utilizados para preservação de madeira são baseados em soluções comerciais de CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) e CCB (Boratado de Cobre Cromatado), que fazem mal a saúde humana e impactam negativamente o meio ambiente. Diante disso, compostos à base de boro, como o octaborato dissódico tetrahidratado (DOT), ácido bórico e borax, surgem como alternativas promissoras. Esses sais solúveis, além de serem de baixo custo, são considerados altamente eficazes na preservação do bambu e da madeira, oferecendo vantagens como baixa toxicidade para mamíferos, além de serem inodoros e incolores, o que facilita seu uso sem prejudicar a saúde ou o meio ambiente (GAUSS, 2020). Na América Latina e na Ásia, esses compostos de boro têm se consolidado como os principais conservantes para esses materiais.

O tratamento com compostos de boro se destaca pela sua capacidade de não apenas proteger o bambu contra organismos xilófagos, como insetos e fungos, mas também por melhorar a resistência mecânica do material. Segundo Gauss (2020), o uso de compostos de boro pode aumentar a resistência à tração do bambu em comparação com materiais não tratados.

Estudos demonstram que a combinação de borax e ácido bórico é eficaz na preservação do bambu, aumentando sua durabilidade e resistência sem os impactos ambientais adversos associados a outros produtos químicos convencionais (GAUSS, 2020)

O estudo de Colli et al. (2007), explora a eficácia do ácido bórico e do tanino condensável como tratamentos preservativos para o bambu *Bambusa tuldoides*. O ácido bórico, conhecido por suas propriedades fungicidas e inseticidas, combinado com o tanino, um polifenol vegetal, visa melhorar a durabilidade do bambu enquanto minimiza o impacto ambiental. O estudo utilizou o método de pressão de célula cheia para aplicar esses compostos

em diferentes concentrações, resultando em uma proteção significativa contra térmitas, com o tratamento contendo 5% de ácido bórico e 1,2% de tanino mostrando a maior eficácia. Além disso, o tratamento também demonstrou preservar as propriedades mecânicas do bambu, evidenciando que a combinação de ácido bórico e tanino não só protege o material contra degradação, mas também mantém suas características físicas e mecânicas ao longo do tempo.

Além disso, o estudo Beraldo (2008) focou na aplicação de soluções preservativas diferentes, incluindo o borato de cobre cromatado (CCB) e uma solução de ácido bórico e bórax (ABB). O estudo comparou o desempenho de CCB, um produto comercial amplamente utilizado, com a solução de ABB, que é menos agressiva ao meio ambiente. Utilizando o Método de Boucherie Modificado, a pesquisa revelou que o CCB, especialmente em uma concentração de 5%, proporcionou um desempenho mecânico superior em comparação com a solução ABB. Embora a solução ABB tenha sido eficaz, o CCB demonstrou melhores resultados em termos de resistência mecânica e preservação das propriedades estruturais do bambu.

Ambos os estudos destacam a importância dos tratamentos químicos para aumentar a durabilidade e resistência do bambu, mas oferecem perspectivas diferentes sobre a eficácia e impacto ambiental dos preservativos utilizados. O artigo de Colli et al. enfatiza o benefício ambiental e a preservação das propriedades mecânicas proporcionadas pela combinação de ácido bórico e tanino, enquanto o trabalho de Beraldo destaca o desempenho superior do CCB em comparação com a solução ABB, apesar das preocupações ambientais associadas ao uso de produtos comerciais.

Para a escolha do tipo de tratamento deve-se atentar ao que é mais indicado, de forma que, para colmos secos, o tratamento é realizado por imersão durante cerca de 3 semanas em temperatura ambiente. Para colmos verdes (recém-colhidos), o método é a substituição de seiva, em que os colmos são colocados verticalmente em um tambor com a solução preservativa. À medida que a água contida nos colmos evapora, a solução é ascendida por capilaridade, penetrando no colmo. Após uma semana, os colmos são invertidos para garantir que o tratamento ocorra ao longo de todo o comprimento. Após o tratamento, os bambus devem ser armazenados em local coberto por 30 dias para completar a reação química dos sais com a lignina e para a secagem completa dos colmos (MATSUOKA, 2011).

Guimarães (2017) descreve outros métodos, como o método Boucherie, onde a seiva é removida por pressão e o produto químico é injetado, e o método de transpiração das folhas, que ocorre após o corte, com o colmo colocado verticalmente em um recipiente com produto

químico, permitindo que a seiva seja substituída pelo produto. Esse processo dura entre 2 e 4 dias, seguido por um tratamento de imersão por 12 horas.

Os métodos de tratamento também incluem a imersão (banho frio), onde os colmos são imersos em soluções químicas hidrossolúveis, e o banho quente-frio, que utiliza soluções aquecidas para expandir as células do bambu e facilitar a absorção do preservativo. O método de pincelamento e a aspersão não são tão eficazes devido à impermeabilidade da camada externa dos colmos, e a fumigação ou defumação, que utiliza resíduos vegetais queimados, tem sido considerada mais curativa do que preventiva (TIBURTINO, 2012).

A autoclave é uma técnica que utiliza vácuo para melhorar a penetração do preservativo, mas é mais adequada para taliscas, enquanto o método de substituição de seiva ou Boucherie modificado, que utiliza pressão hidrostática para injetar o preservativo, é eficaz, porém requer equipamentos especializados e pode não ser adequado para bambus de paredes finas devido ao risco de explosão (TIBURTINO, 2012).

Embora os tratamentos químicos sejam os mais eficazes na preservação do bambu, eles podem ser prejudiciais ao meio ambiente devido ao uso de substâncias tóxicas, exigindo cuidados especiais no manuseio, aplicação e descarte (MATSUOKA, 2011).

A maior parte das espécies de bambu apresenta baixa resistência ao ataque de agentes deteriorantes, o que torna o material com baixa vida útil e economicamente inviável. Além disso, devido às suas características anatômicas, o bambu apresenta maior dificuldade para efetuar-se o tratamento preservativo do que as espécies arbóreas. Os colmos dispõem de duas camadas consideradas refratárias à penetração de líquidos: a camada externa, protegida por uma epiderme que atua como um selo hermético, e a camada interna, que apresenta uma membrana impermeável (SCHARFENBERG, 2020).

A durabilidade natural de materiais como a madeira e o bambu, refere-se ao período em que esses materiais permanecem inalterados sem a aplicação de qualquer tipo de tratamento. A adoção de práticas adequadas, como escolher o momento ideal para o corte do bambu (considerando a estação do ano, o mês e o período do dia), o manejo apropriado das touceiras e o armazenamento correto dos colmos, pode aumentar a resistência do material ao ataque de organismos xilófagos e prolongar sua durabilidade (MATSUOKA 2011).

Dependendo das condições a que o bambu é exposto, sua vida útil pode variar significativamente: de 6 a 24 meses quando enterrado no solo ou submetido a condições muito adversas; até 3 anos em contato direto com o solo ou em ambientes externos; e até 7 anos quando mantido em ambientes protegidos e sem contato direto com o solo. No entanto, a aplicação de um tratamento preservativo adequado pode prolongar a vida útil do bambu,

estabelecendo uma relação direta entre o tipo de tratamento utilizado e sua durabilidade (MATSUOKA 2011).

Geralmente um bom tratamento pode aumentar a vida útil de bambus para 15 anos, quando expostos às intempéries e para 25 anos quando colocado em local abrigado. O tratamento é responsável pelo aumento de cerca de 30% no preço do bambu (ESPELHO, 2007).

Uma vez que sua durabilidade natural é menor que a da madeira e não é longa o suficiente para uma vida econômica, o bambu necessita passar por um tratamento. A vida útil do bambu *in natura* pode variar de um a 15 anos, dependendo das condições de armazenamento, da espécie de bambu e outras condições. Além disso, por ser um material natural que não tem nenhuma substância tóxica e apresentar amido em sua composição, torna-se atrativo para insetos, principalmente o cupim (NACCACHE, 2013).

A camada protetora externa e os vasos, que cobrem uma pequena superfície de aproximadamente 10% da seção transversal do colmo, tornam o tratamento de bambu mais difícil. Porém, alguns métodos ultrapassam essas dificuldades.

A aplicação de tratamentos químicos no bambu enfrenta diversas dificuldades que podem comprometer sua eficácia e a qualidade do material tratado. Uma das principais questões é a variabilidade na eficácia dos diferentes preservativos utilizados. Por exemplo, a solubilidade e a penetração de compostos como o dissódio octaborato (DOT) podem ser limitadas, especialmente em ambientes externos, onde a lixiviação pode ocorrer rapidamente, reduzindo a proteção oferecida ao bambu (GAUSS, 2020).

Além disso, a interação entre os tratamentos químicos e as propriedades mecânicas do bambu é uma preocupação significativa. Embora alguns tratamentos possam melhorar a resistência do material, outros podem resultar em uma diminuição da integridade estrutural. A tese enfatiza a importância de entender esses efeitos, pois a escolha inadequada do tratamento pode levar a um desempenho insatisfatório do bambu em aplicações estruturais (GAUSS, 2020).

Outro desafio importante é a falta de métodos padronizados para a avaliação da tratabilidade do bambu. A ausência de protocolos consistentes dificulta a comparação entre diferentes estudos e a implementação de práticas eficazes na indústria. A adoção de métodos de avaliação padronizados é fortemente recomendada para garantir que os tratamentos sejam aplicados de maneira eficaz e que os resultados sejam confiáveis (GAUSS, 2020).

Por fim, a complexidade do processo de tratamento químico, que envolve a seleção do preservativo adequado, a determinação da concentração ideal e a escolha do método de

aplicação, pode ser um obstáculo para a adoção generalizada de tratamentos eficazes. A pesquisa contínua e o desenvolvimento de novas formulações de preservativos que não comprometam as propriedades mecânicas do bambu são essenciais para superar essas dificuldades e maximizar o potencial do bambu como material de construção (GAUSS, 2020).

Dois tipos de métodos podem ser usados nos tratamentos preservativos: métodos tradicionais ou naturais e métodos químicos. A escolha de qual método utilizar depende de vários fatores, tais como o estado do bambu, o tempo disponível, a aplicação do material e a quantidade a ser tratada (NACCACHE, 2013).

Além da degradação natural do material, alguns tipos de fungos podem atacar o material, alterando suas propriedades físicas e em alguns casos levando ao apodrecimento do material. Os fungos se desenvolvem em bambus com teor de umidade de 40 a 80%, sendo bambus com teor de umidade igual a 20% impróprios para o ataque de fungos. Este fator ressalta a relevância da secagem correta do bambu. Além dos ataques de fungos, o bambu também é susceptível ao ataque de insetos. Estes insetos penetram no bambu, afetando seus tecidos e consumindo o material, deixando furos no mesmo (ALVES, 2019).

Para prevenir os ataques anteriormente citados, há diversos tratamentos a serem realizados no bambu, sendo estes químicos ou não químicos. A escolha do tratamento ideal deve levar em conta a espécie do bambu, finalidade, entre outros.

O tratamento é um processo necessário para eliminar parcialmente o amido, parte menos resistente e mais atraente ao ataque dos organismos xilófagos e diminuir o teor de umidade, visando uma maior vida útil do material, reduzindo as rachaduras (SOUZA, 2014).

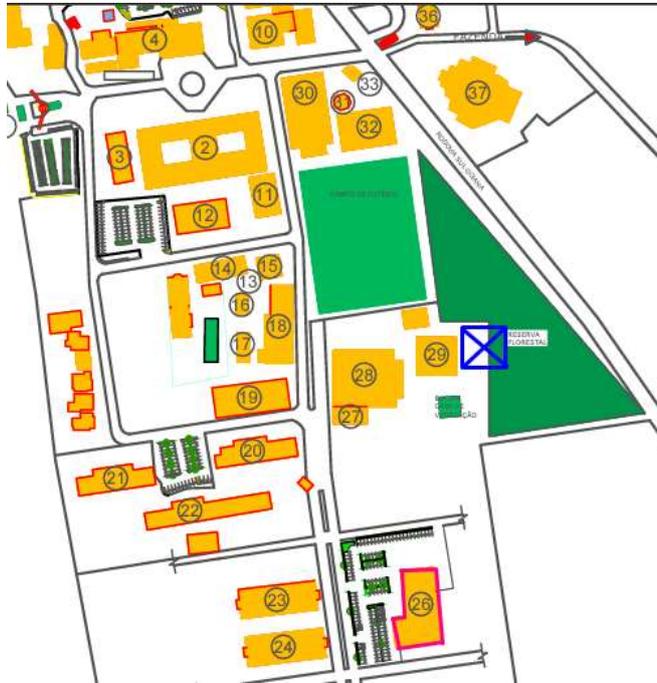
Dentre as técnicas usuais de tratamento podem ser citadas: natural; por fogo; por imersão; e químicas, sendo estas últimas as mais eficazes. A escolha das aplicações varia de acordo com a espécie de bambu utilizada e o nível de durabilidade e resistência requeridos (SOUZA, 2014).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Coleta e local do tratamento**

Para a realização deste trabalho, o Laboratório de Estruturas do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde foi utilizado como local de armazenagem, tratamento e ensaios do bambu. A coleta do bambu *Dendrocalamus asper* também ocorreu dentro do campus, com o auxílio de uma equipe disponibilizada pela instituição. Conforme ilustrado na Figura 5, a

área destacada em azul representa o local de coleta do bambu que fica próximo à área de reserva florestal do instituto, enquanto a área identificada como 26, com perímetro em rosa, indica o Laboratório de Estruturas, para onde o bambu foi transportado para tratamento e ensaios subsequentes.



**Figura 5.** Mapa do Campus Rio Verde.  
Fonte: IF Goiano, 2022.

A escolha desta espécie de bambu foi motivada pela sua disponibilidade para coleta dentro do campus, além das suas características físicas e mecânicas notáveis que a torna uma opção promissora para uso como peça estrutural (Figura 6). A escolha também considerou a possibilidade de a população local se beneficiar do bambu presente no campus, promovendo o seu uso sustentável e ampliando as aplicações desta matéria-prima em projetos comunitários e de construção.



**Figura 6.** Touceira bambu *Dendrocalamus Asper*.  
Fonte: Autor, 2024.

A coleta das hastes de bambu foi realizada com o auxílio de uma serra motorizada e um facão, sendo dividida em duas etapas. Em cada etapa, foram cortadas 20 varas de bambu, cada uma com 3 metros de comprimento, totalizando 40 peças. O transporte das hastes foi feito por meio de um trator e uma caminhonete. Após o transporte, metade das peças foi destinada ao tratamento químico, enquanto a outra metade foi encaminhada para a produção dos corpos de prova que seriam utilizados nos ensaios de tração, compressão e cisalhamento.

### 3.2 Tratamento

O método adotado para o tratamento do bambu foi a técnica de substituição de seiva, também conhecida como deslocamento de seiva ou Boucherie. Esta técnica foi escolhida por sua facilidade de execução e pela disponibilidade dos materiais necessários para a sua aplicação. Apesar de sua simplicidade, o método apresenta algumas divergências na literatura em relação ao tempo de imersão e de secagem. Por exemplo, estudos como os de Barbosa e Martins (2017) e Scharfenberg (2020) não apresentam instruções claras sobre o tempo de imersão ou se há necessidade de secagem, sendo que Scharfenberg (2020) reforça que a eficiência do método depende de diversos fatores. Em contraste, Alves (2019) recomenda uma imersão de 14 dias (7 dias para cada extremidade do bambu) e um período de secagem de 30 dias. Já Ferreira (2010) sugere uma imersão de 25 dias, seguida de 30 dias de secagem. Outro estudo, realizado pelo Institute of Wood Science and Technology (IWST) em Bengaluru (2020), propõe um período de imersão de 24 a 48 horas para cada extremidade do

bambu, com posterior secagem à sombra por 2 a 3 semanas. Devido à variabilidade dos métodos sugeridos na literatura, optou-se por adaptar o tratamento de acordo com o tempo disponível, adotando a recomendação do IWST, que melhor se adequou às necessidades da pesquisa.

A solução de tratamento escolhida foi uma combinação de ácido bórico e bórax, pela sua eficácia comprovada na proteção contra fungos, insetos xilófagos e na resistência ao fogo. Os compostos de boro, como o ácido bórico e o bórax, são amplamente utilizados como retardadores de chama e conservantes para materiais de origem vegetal, devido às suas propriedades benéficas, como não toxicidade ao meio ambiente, desde que utilizados em dosagens apropriadas (WILLERDING; VIANEZ, 2003; FATTAH; PRININDYA; ARDHYANANTA, 2014). Além disso, esses compostos não têm impacto adverso sobre a saúde humana, são inodoros, incolores, não voláteis, e apresentam custo relativamente mais baixo em comparação com conservantes à base de metais pesados (HANDANA et al., 2020).

A mistura de ácido bórico e borato de sódio (bórax) é utilizada devido ao efeito sinérgico que essa combinação proporciona na resistência do bambu. De modo que, o ácido bórico é eficaz em catalisar reações de desidratação e eliminar oxigênio a temperaturas relativamente baixas, promovendo a carbonização e retardando o fogo. Por outro lado, o borax tende a reduzir a propagação das chamas, mas pode promover a brasa ou o brilho. A combinação dos dois compostos permite que as propriedades de cada um se complementem, resultando em um desempenho superior em comparação ao uso isolado de cada um deles.

A proporção de 1:1:100, correspondendo a 1 kg de ácido bórico e 1 kg de bórax para cada 100 litros de água, foi escolhida com base em estudos que demonstram sua eficácia na preservação e proteção do bambu. Esta proporção permite uma combinação balanceada das propriedades preservativas do ácido bórico e do bórax, garantindo a proteção contra organismos xilófagos e aumentando a resistência ao fogo (BARBOSA; MARTINS, 2017; YU et al., 2017). Além disso, essa proporção assegura uma solução suficientemente concentrada para penetrar nas fibras do bambu, garantindo proteção ao longo do tempo, ao mesmo tempo em que mantém a solução econômica e ambientalmente segura (LIU, 2023). A escolha por essa proporção também reflete uma prática validada na literatura, proporcionando um equilíbrio adequado entre eficiência preservativa e sustentabilidade (BARBOSA; MARTINS, 2017) (Figura 7).





**Figura 8.** Tratamento químico.  
Fonte: Autor, 2024.

Durante todo o processo de tratamento, foram utilizados os seguintes Equipamentos de Proteção Individual (EPIs):

- Óculos de proteção;
- Máscara de proteção respiratória;
- Avental de proteção química;
- Luvas de borracha.

As instruções de segurança e manuseio dos produtos químicos, conforme indicadas nas fichas técnicas fornecidas pela Embrapa, foram rigorosamente seguidas. Estas instruções incluem medidas de segurança, primeiros socorros em caso de contato acidental, e procedimentos adequados para o descarte de resíduos químicos, de modo a evitar contaminação ambiental.

Após o tratamento químico, as peças de bambu foram colocadas em local sombreado por 14 dias para secagem. Em seguida, iniciou-se o processo de produção das amostras para os ensaios de tração e compressão. Todos os cuidados necessários foram tomados no manuseio dos materiais químicos utilizados, em conformidade com as normas de segurança vigentes.

Este método permitiu a preparação adequada das amostras, garantindo que todas as etapas do tratamento fossem conduzidas de forma segura, eficaz e de acordo com as melhores práticas estabelecidas na literatura.

### **3.3 Corpos de prova: Bambu tratado e não tratado**

Foram produzidos 15 corpos de prova para cada tipo de ensaio, tanto para o bambu tratado quanto para o não tratado, totalizando 45 corpos de prova para cada condição (tratado e não tratado) (Figura 9). A NBR 16828-2:2020 foi utilizada como referência em todas as etapas, desde a amostragem até o cálculo dos resultados.

No ensaio de compressão, as peças de bambu foram cortadas com uma serra de bancada, sendo o comprimento das amostras definido com base na média do diâmetro externo de todos os corpos de prova destinados a esse ensaio. O comprimento final estabelecido foi de 48 mm. Todos os corpos de prova foram numerados para garantir sua identificação e rastreabilidade.



**Figura 9.** Corpo de prova para ensaio de compressão.  
Fonte: Autor, 2024.

Para o ensaio de tração, um pedaço de colmo foi extraído paralelamente às fibras e modelado de forma a formar uma tira de bambu, com duas hastes maiores nas extremidades e uma seção central de 100 mm de comprimento. A seção foi modelada para ser retangular, com a largura igual à espessura da parede do colmo (Figura 10).



**Figura 10.** Corpo de prova para ensaio de tração.  
Fonte: Autor, 2024.

De maneira semelhante, foram preparados os corpos de prova para o ensaio de cisalhamento (Figura 11).



**Figura 11.** Corpo de prova para ensaio de cisalhamento.  
Fonte: Autor, 2024.

Os materiais utilizados na produção dos corpos de prova incluíram:

- Serra de bancada para cortes precisos;
- Faca para acabamento e remoção de imperfeições nas superfícies de corte;
- Paquímetro para medições precisas das dimensões dos corpos de prova.

Todos os corpos de prova foram identificados e armazenados adequadamente até o momento dos ensaios, com suas dimensões cuidadosamente verificadas para garantir a conformidade com as normas técnicas aplicáveis e a validade dos resultados experimentais. Após o período de secagem ou cura dos bambus tratados, o mesmo processo foi repetido para a produção dos novos corpos de prova. Cabe destacar que o ensaio de flexão não pôde ser realizado, devido à necessidade de reparo na máquina específica para esse teste, o que geraria um custo adicional significativo.

### 3.4 Ensaios de tração, compressão e cisalhamento

Conforme NBR 16828-2:2020, para o ensaio de tração o corpo de prova foi fixado na máquina de ensaio de forma que suas extremidades ficassem firmemente presas entre as garras, alinhadas perpendicularmente às fibras e na direção radial, para garantir que a carga fosse aplicada de maneira uniforme ao longo do eixo longitudinal, evitando torções (Figura 12).

Aplicou-se então uma carga de forma contínua até o rompimento do corpo de prova. Durante o ensaio, foram feitas leituras regulares dos medidores de deformação para criar um diagrama carga-deformação. Após a conclusão do ensaio, a umidade dos corpos de prova é medida para complementar a análise dos resultados.



**Figura 12.** Ensaio de tração.

Fonte: Autor, 2024.

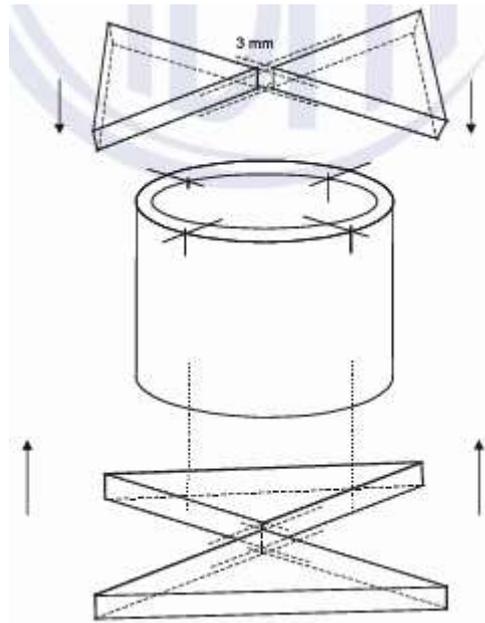
Após a fixação das duas hastes, foi iniciado o ensaio que consiste na aplicação de uma carga gradual até o rompimento do corpo de prova. A força máxima da amostra ao resistir a carga exercida, é demonstrada em newton (N).

No ensaio de compressão, foi realizado um procedimento mais simples, de modo que o corpo de prova foi apenas centralizado na máquina e para acomodar o corpo de prova na máquina foi aplicada uma carga inicial baixa, não mais que 1 kN. Após a acomodação do corpo de prova, iniciou-se o ensaio de modo que a carga máxima medida pelo equipamento foi registrada no momento que o corpo de prova chegou a sua falha (Figura 13).



**Figura 13.** Ensaio de compressão.  
Fonte: Autor, 2024.

Para o ensaio de cisalhamento, similar ao ensaio de compressão, utilizou-se de duas chapas posicionadas em lados contrários, de modo que cada lado apoiado compreendesse dois quartos do corpo de prova (Figura 14).



**Figura 14.** Posição das chapas no corpo de prova para ensaio de cisalhamento.  
Fonte: ABNT, 2020.

Ao apoiar corretamente as chapas, lembrando que deve haver quatro áreas de cisalhamento, o corpo de prova foi colocado no centro da máquina verticalmente e acomodada da mesma forma que no ensaio de compressão. As cargas máximas do material, assim como no ensaio de compressão, foram expressadas em quilograma-força (Figura 15).



**Figura 15.** Ensaio de cisalhamento.  
Fonte: Autor, 2024.

Os resultados foram obtidos por meio de cálculos, em que as expressões utilizadas estavam descritas na NBR 16828-2:2020.

No ensaio de tração, para calcular a resistência a tração em MPa, utilizou-se da seguinte expressão:

$$f_{t0} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A}$$

De modo que,

$F_{m\acute{a}x}$  = é a carga máxima lida no equipamento expressa em newtons (N);

$f_{t0}$  = resistência à tração paralela às fibras, expressa em Mpa;

$A$  = área média da seção transversal da parte central do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ ).

A força máxima em newtons foi adquirida por meio dos dados que a o software da prensa leu, e a área foi calculada a partir de medição da base e altura da parte central do corpo de prova com o auxílio de um paquímetro. Por meio dos dados adquiridos calculou-se a resistência a tração dos corpos de prova.

No ensaio de compressão, para calcular a resistência a compressão em MPa, utilizou-se da seguinte expressão:

$$f_{c0} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A}$$

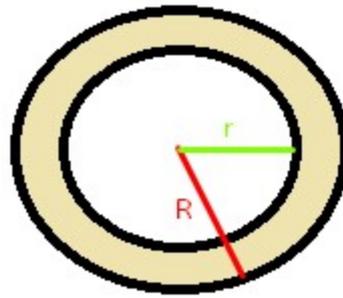
De modo que,

$F_{m\acute{a}x}$  = é a carga máxima lida no equipamento expressa em newtons (N);

$f_{c0}$  = resistência à compressão paralela às fibras, expressa em Mpa;

$A$  = área da seção transversal do corpo de prova, expressa em milímetros quadrados ( $\text{mm}^2$ ).

Neste ensaio, a leitura dos dados de força máxima foi disponibilizada pelo software em quilograma-força (kgf), ou seja, houve a necessidade de realizar a conversão de unidades quilograma-força (kgf) para newtons (N), que é obtida ao multiplicar o valor de kgf por 9,807. Além disso, como o corpo de prova de compressão é cilíndrico e oco, a sua área se dá como uma coroa circular (Figura 16). Portanto, com o auxílio de um paquímetro foi medido o diâmetro interno e externo e foi dividido por dois todos os valores, afim de obter o raio interno ( $r$ ) e externo ( $R$ ).



**Figura 16.** Representação de uma coroa circular.  
Fonte: Autor, 2024.

$$A_{coroa} = \pi \times (R^2 - r^2)$$

Após descoberto a área em mm<sup>2</sup>, foram substituídos os valores na expressão para descoberta da resistência a compressão.

No ensaio de cisalhamento, para calcular a resistência ao cisalhamento final, utilizou-se da seguinte expressão:

$$f_{v0} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{\sum(t \times L)}$$

De modo que:

$F_{m\acute{a}x}$  = é a carga máxima lida no equipamento expressa em newtons (N);

$f_{v0}$  = resistência à compressão paralela às fibras, expressa em Mpa;

$\sum(t \times L)$  = é a soma das quatro áreas de cisalhamento, expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>).

Após a realização dos ensaios de tração, compressão e cisalhamento no bambu *Dendrocalamus asper*, tanto *in natura* quanto tratado com compostos de boro, procedeu-se ao tratamento dos dados para determinar a resistência de cada condição. A análise envolveu o cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação, com o objetivo de compreender a variabilidade dos resultados. O desvio padrão foi calculado utilizando a equação:

$$D_p = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Sendo que,

$x_i$  = valor individual

$\bar{x}$  = média dos valores

n = número de valores

D<sub>p</sub> = Desvio padrão

Para o cálculo do coeficiente de variação, o desvio padrão foi dividido pela média, e o resultado foi classificado conforme a precisão indicada em uma tabela padrão do IBGE, que varia de "Exata" a "Imprecisa" (Tabela 2).

**Tabela 2.** Classificação das estimativas quanto à precisão.

INDICADOR	INTERVALO DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO - CV (%)	CONCEITO
Z	Zero	Exata
A	Até 5	Ótima
B	Mais de 5 A 15	Boa
C	Mais de 15 a 30	Razoável
D	Mais de 30 a 50	Pouco precisa
E	Mais de 50	Imprecisa

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisa.

Além disso, aplicou-se o método ANOVA (Analysis of Variance) para comparar as médias das resistências e verificar a presença de diferenças estatisticamente significativas entre as amostras. Também foi realizada uma análise e classificação dos modos de falha observados nos corpos de prova após os ensaios, permitindo entender melhor os mecanismos de ruptura sob diferentes condições de tratamento.

Esta abordagem combinada é essencial para entender o impacto do tratamento químico nas propriedades mecânicas do bambu e nos modos de falha, ressaltando seu potencial para diversas aplicações na construção civil.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Resistência a tração

Para entender os resultados obtidos nos ensaios de tração realizados no bambu *Dendrocalamus asper in natura*, é essencial contextualizar as características dimensionais e os parâmetros de resistência das amostras. Na Tabela 3, são apresentadas as medidas da base e

altura das amostras, a área correspondente, a força máxima aplicada até a ruptura e a resistência à tração calculada em megapascais (MPa) para cada amostra.

A análise desses dados permitirá uma compreensão detalhada do comportamento do bambu *in natura* sob esforços de tração, evidenciando sua capacidade de resistir a forças tensionais antes da falha.

**Tabela 3.** Resistência a tração do bambu *in natura*.

<b>BAMBU IN NATURA</b>					
<b>AMOSTRAS</b>	<b>BASE (mm)</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	<b>ÁREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>FORÇA MÁXIMA (N)</b>	<b>RESISTENCIA A TRAÇÃO (MPa)</b>
1	11	4	44	10444,23	237,37
2	10	4	40	11244,47	281,11
3	11	4	44	10321,11	234,57
4	11	5	55	11490,70	208,92
5	10	4	40	6750,79	168,77
6	11	5	55	7438,18	135,24
7	11	5	55	9264,38	168,44
8	11	4	44	11388,11	258,82
9	10	4	40	10987,99	274,70
10	11	4	44	10516,05	239,00
11	11	5	55	9633,72	175,16
12	10	4	40	10362,15	259,05
13	11	5	55	11685,63	212,47
14	11	4	44	6545,60	148,76
15	11	4	44	12485,88	283,77
<b>MÉDIA</b>	<b>10,73</b>	<b>4,33</b>	<b>46,60</b>	<b>10037,27</b>	<b>219,08</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>0,46</b>	<b>0,49</b>	<b>6,37</b>	<b>1814,63</b>	<b>49,58</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>4%</b>	<b>11%</b>	<b>14%</b>	<b>18%</b>	<b>23%</b>

Fonte: Autor, 2024.

Observando os dados, nota-se uma variação significativa nos valores de resistência à tração entre as amostras, com uma média de 219,08 MPa. O coeficiente de variação de 23% indica uma precisão moderada dos resultados, classificando-se na categoria "RAZOÁVEL" conforme a tabela de classificação do IBGE. Essa variação pode estar associada às diferenças nas dimensões das amostras, especialmente na área de seção transversal, que influencia diretamente a resistência medida. Amostras com menores áreas de seção transversal tendem a

apresentar valores de resistência mais elevados, enquanto aquelas com maiores áreas mostram resistências relativamente menores.

Além disso, a força máxima aplicada também variou consideravelmente, com valores entre aproximadamente 6545,60 N e 12485,88 N. Esta heterogeneidade pode ser atribuída à natureza intrínseca do bambu, um material fibroso e não uniforme ao longo de sua extensão.

Continuando a análise dos resultados de resistência à tração, a Tabela 4 apresenta os dados referentes ao bambu *Dendrocalamus asper* tratado quimicamente com compostos de boro, incluindo as dimensões das amostras, a força máxima aplicada até a ruptura, e a resistência à tração calculada em MPa.

**Tabela 4.** Resistência a tração do bambu tratado.

AMOSTRAS	BAMBU TRATADO			FORÇA MAXIMA (N)	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO (MPa)
	BASE (mm)	ALTURA (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )		
1	13	5	65	12547,44	193,04
2	10	5	50	11234,21	224,68
3	11	5	55	12065,24	219,37
4	11	5	55	11706,15	212,84
5	10	6	60	11788,23	196,47
6	13	5	65	12701,33	195,41
7	11	5	55	11429,15	207,80
8	12	5	60	12434,58	207,24
9	10	5	50	10475,01	209,50
10	11	5	55	12762,89	232,05
11	11	5	55	11634,34	211,53
12	12	5	60	12239,65	203,99
13	11	5	55	11726,67	213,21
14	11	5	55	11983,16	217,88
15	11	5	55	10680,20	194,19
<b>MÉDIA</b>	<b>11,20</b>	<b>5,07</b>	<b>56,67</b>	<b>11827,22</b>	<b>209,28</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>0,94</b>	<b>0,26</b>	<b>4,50</b>	<b>681,17</b>	<b>11,49</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>8%</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>	<b>6%</b>	<b>5%</b>

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados para o bambu tratado mostram uma média de resistência à tração de 209,28 MPa, ligeiramente inferior à do bambu *in natura* (219,08 MPa), resultado de uma

variação de 4%. A redução na resistência pode ser resultado do tratamento químico, que afeta a coesão das fibras e as propriedades mecânicas do material. O coeficiente de variação para o bambu tratado é de 5%, indicando uma precisão "ÓTIMA" dos resultados.

Além disso, observa-se que a média da força máxima aplicada para o bambu tratado (11827,22 N) foi superior à do bambu *in natura* (10037,27 N). Embora as amostras tratadas tenham, em média, áreas de seção transversal maiores, o que pode contribuir para uma resistência média à tração inferior (variação negativa de 4%), o tratamento químico parece aumentar a força necessária para a ruptura, redistribuindo as tensões e afetando a resistência específica.

A análise ANOVA resultou em um valor de F de 0,556 e um valor-P de 0,462, sendo que o valor de F foi inferior ao de F crítico (4,196), indicando que não há diferença estatisticamente significativa entre a resistência à tração do bambu *in natura* e do bambu tratado. Portanto, o tratamento químico com compostos de boro não teve um impacto significativo na resistência à tração do bambu.

## 4.2 Resistência a compressão

A seguir, são apresentadas as tabelas que comparam a resistência à compressão do bambu *Dendrocalamus asper in natura* e tratado quimicamente com compostos de boro (Tabela 6 e 7).

**Tabela 5.** Resistência a compressão do bambu *in natura*.

AMOSTRAS	BAMBU <i>IN NATURA</i>			FORÇA MAXIMA (kgf)	FORÇA MAXIMA (N)	RESISTENCIA A COMPRESSÃO (MPa)
	RAIO EXTERNO (mm)	RAIO INTERNO (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )			
1	24,00	20,00	552,64	2573,62	25239,49	45,67
2	22,50	17,50	628,00	2719,04	26665,63	42,46
3	24,50	20,00	628,79	2507,71	24593,11	39,11
4	24,00	20,50	489,06	1586,02	15554,10	31,80
5	24,00	20,00	552,64	2537,00	24880,36	45,02
6	24,00	20,50	489,06	2807,97	27537,76	56,31
7	23,00	19,00	527,52	2190,72	21484,39	40,73
8	24,50	20,00	628,79	2742,06	26891,38	42,77
9	24,50	21,00	500,05	2415,65	23690,28	47,38
10	22,50	18,50	514,96	3819,63	37459,11	72,74
11	24,50	20,00	628,79	2957,57	29004,89	46,13
12	23,50	20,00	478,07	2033,79	19945,38	41,72

13	25,00	20,00	706,50	2614,42	25639,62	36,29
14	25,00	20,00	706,50	2833,08	27784,02	39,33
15	24,50	19,50	690,80	2904,22	28481,69	41,23
<b>MÉDIA</b>	<b>24,00</b>	<b>19,77</b>	<b>581,48</b>	<b>2616,17</b>	<b>25656,75</b>	<b>44,58</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>0,80</b>	<b>0,86</b>	<b>82,59</b>	<b>492,77</b>	<b>4832,62</b>	<b>9,54</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>14%</b>	<b>19%</b>	<b>19%</b>	<b>21%</b>

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados para o bambu *in natura* mostram uma média de resistência à compressão de 44,58 MPa, com uma variação significativa entre as amostras, cujos valores oscilam de 31,80 MPa a 72,74 MPa. O desvio padrão de 9,54 indica uma dispersão alta em torno da média, enquanto o coeficiente de variação de 21%, sendo classificada como “RAZOÁVEL” e isso reflete a variabilidade nas propriedades mecânicas do bambu, que é comum em materiais naturais devido a fatores como a variação nas dimensões das amostras. As amostras com maior área de seção transversal tendem a suportar maior carga, resultando em uma variação nos valores de resistência.

**Tabela 6.** Resistência a compressão do bambu tratado.

AMOSTRAS	BAMBU TRATADO			FORÇA MAXIMA (kgf)	FORÇA MAXIMA (N)	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO (MPa)
	RAIO EXTERNO (mm)	RAIO INTERNO (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )			
1	23,50	16,50	879,20	6486,36	63611,73	72,35
2	23,50	15,00	1027,57	6362,91	62401,06	60,73
3	22,50	16,50	734,76	6616,09	64883,99	88,31
4	24,00	16,50	953,78	5760,31	56491,36	59,23
5	23,50	15,50	979,68	5647,32	55383,27	56,53
6	24,00	14,50	1148,46	6628,64	65007,07	56,60
7	23,50	16,00	930,23	6787,67	66566,68	71,56
8	23,50	16,50	879,20	5386,82	52828,54	60,09
9	23,00	15,00	954,56	5935,02	58204,74	60,98
10	23,00	15,50	906,68	6186,11	60667,18	66,91
11	23,00	15,00	954,56	6426,73	63026,94	66,03
12	22,50	13,50	1017,36	6708,15	65786,83	64,66
13	23,00	16,00	857,22	5268,60	51669,16	60,28
14	23,00	11,50	1245,80	7586,95	74405,22	59,73
15	23,00	14,50	1000,88	6496,82	63714,31	63,66
<b>MÉDIA</b>	<b>23,23</b>	<b>15,20</b>	<b>964,66</b>	<b>6285,63</b>	<b>61643,21</b>	<b>64,51</b>

<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>0,46</b>	<b>1,36</b>	<b>121,00</b>	<b>604,75</b>	<b>5930,76</b>	<b>8,14</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>2%</b>	<b>9%</b>	<b>13%</b>	<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>13%</b>

Fonte: Autor, 2024.

Os resultados para o bambu tratado quimicamente mostram uma média geral de resistência à compressão superior à do bambu *in natura*, com valores que variam de 56,53 MPa a 88,31 MPa, resultando em um aumento de 45% em relação à média (64,51 MPa). Essa diferença pode ser atribuída à influência positiva do tratamento químico na estrutura do bambu, que pode ter aumentado sua capacidade de suportar cargas de compressão.

O desvio padrão da resistência à compressão para o bambu tratado é de 8,14 MPa, e o coeficiente de variação é de 13%, que segundo IBGE indica uma “BOA” precisão. Esses valores são inferiores em comparação com o bambu *in natura*, o que indica uma menor variabilidade nas propriedades mecânicas após o tratamento. Isso sugere que o tratamento químico contribuiu para uma uniformidade maior nas propriedades do material.

A análise ANOVA para resistência à compressão revelou um valor de F de 37,894, com um valor-P de (1,2046E-06), sendo que o valor de F é maior que o valor crítico de F (4,196). Isso indica uma diferença estatisticamente significativa entre a resistência à compressão do bambu *in natura* e do bambu tratado. Assim, podemos concluir que o tratamento químico melhorou significativamente a resistência à compressão do bambu.

### 4.3 Resistência ao cisalhamento

O cisalhamento é uma propriedade crítica para entender como o bambu se comporta sob forças laterais, e as tabelas a seguir oferecem uma visão detalhada das capacidades de cada tipo de bambu.

Tabela 7. Resistência ao cisalhamento do bambu *in natura*.

AMOSTRAS	BAMBU <i>IN NATURA</i>			FORÇA MAXIM A (kgf)	FORÇA MAXIMA (N)	RESISTÊNCIA AO CISALHAMENT O (MPa)
	BASE (mm)	ALTUR A (mm)	ÁREA (mm <sup>2</sup> )			
1	6	104	624	1845,47	18098,52	7,01
	8	103	824			

	6	103	618			
	5	103	515			
2	5	104	520	1434,32	14066,38	6,46
	5	104	520			
	5	103	515			
	6	104	624			
3	6	104	624	2157,24	21156,05	7,82
	7	104	728			
	6	104	624			
	7	104	728			
4	5	104	520	1544,17	15143,68	7,32
	5	103	515			
	5	103	515			
	5	104	520			
5	5	104	520	1590,21	15595,19	6,56
	5	104	520			
	6	103	618			
	7	103	721			
6	5	104	520	2063,08	20232,63	8,46
	6	104	624			
	6	104	624			
	6	104	624			
7	5	104	520	1809,90	17749,69	8,55
	5	104	520			
	5	104	520			
	5	103	515			
8	5	104	520	1962,65	19247,71	8,81
	5	104	520			
	5	104	520			
	6	104	624			
9	5	104	520	2010,77	19719,62	9,55
	5	104	520			
	5	102	510			
	5	103	515			
10	5	104	520	1824,55	17893,36	8,17
	5	105	525			
	5	104	520			
	6	104	624			
11	5	103	515	1718,89	16857,15	7,75
	5	104	520			
	5	103	515			
	6	104	624			
12	5	104	520	1828,74	17934,45	9,05

	5	104	520			
	4	104	416			
	5	105	525			
13	4	104	416	1860,12	18242,20	9,28
	5	103	515			
	5	103	515			
	5	104	520			
14	7	103	721	2154,10	21125,26	7,62
	7	102	714			
	7	103	721			
	6	103	618			
15	5	104	520	1927,08	18898,87	7,92
	6	104	624			
	6	104	624			
	6	103	618			
<b>MÉDIA</b>	<b>5,53</b>	<b>103,53</b>	<b>572,47</b>	<b>1980,43</b>	<b>19422,11</b>	<b>8,27</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>0,99</b>	<b>0,74</b>	<b>99,89</b>	<b>154,08</b>	<b>1511,07</b>	<b>0,89</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>18%</b>	<b>1%</b>	<b>17%</b>	<b>8%</b>	<b>8%</b>	<b>11%</b>

Fonte: Autor, 2024.

Os valores apresentados mostram uma variação na resistência ao cisalhamento das amostras, com a resistência variando de 6,46 MPa a 9,55 MPa, e sua média foi de 8,27 MPa. O desvio padrão de 0,89 indica uma variação moderada em relação à média, sendo que o seu coeficiente de variação foi de 11%, que conforme a Tabela de classificação do IBGE, é classificada como “BOA”. A variação na resistência ao cisalhamento pode ser atribuída às diferenças nas dimensões das amostras e às propriedades estruturais naturais do bambu.

**Tabela 8.** Resistência ao cisalhamento do bambu tratado.

<b>BAMBU TRATADO</b>						
<b>AMOSTRAS</b>	<b>BASE (mm)</b>	<b>ALTURA (mm)</b>	<b>ÁREA (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>FORÇA MÁXIMA (kgf)</b>	<b>FORÇA MÁXIMA (N)</b>	<b>RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (MPa)</b>
1	8	105	840	3173,09	31118,49	9,63
	8	104	832			
	8	104	832			
	7	104	728			
2	7	104	728	3456,60	33898,88	11,64

	6	104	624			
	8	104	832			
	7	104	728			
3	7	104	728	3755,81	36833,23	11,45
	8	103	824			
	8	104	832			
	8	104	832			
4	7	105	735	3327,92	32636,91	11,21
	7	104	728			
	8	103	824			
	6	104	624			
5	7	104	728	3595,75	35263,52	12,62
	7	103	721			
	7	103	721			
	6	104	624			
6	8	104	832	2761,94	27086,35	8,42
	7	104	728			
	8	104	832			
	8	103	824			
7	6	103	618	2541,19	24921,45	10,03
	6	103	618			
	6	104	624			
	6	104	624			
8	9	102	918	3054,87	29959,11	7,96
	9	101	909			
	9	102	918			
	10	102	1020			
9	6	104	624	2911,54	28553,47	11,44
	6	104	624			
	6	104	624			
	6	104	624			
10	9	103	927	3923,20	38474,82	9,53
	10	103	1030			
	10	104	1040			
	10	104	1040			
11	10	104	1040	3741,17	36689,65	8,67
	11	104	1144			
	10	103	1030			
	10	102	1020			
12	8	104	832	3536,11	34678,63	10,40
	8	104	832			
	8	105	840			
	8	104	832			

13	9	104	936	3616,67	35468,68	10,29
	9	104	936			
	8	105	840			
	7	105	735			
14	13	104	1352	3835,32	37612,98	7,69
	10	104	1040			
	12	103	1236			
	12	105	1260			
15	6	104	624	3331,06	32667,71	13,09
	6	104	624			
	6	104	624			
	6	104	624			
<b>MÉDIA</b>	<b>8,53</b>	<b>104,20</b>	<b>889,00</b>	<b>3594,35</b>	<b>35249,79</b>	<b>10,36</b>
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>2,33</b>	<b>0,56</b>	<b>241,36</b>	<b>252,87</b>	<b>2479,89</b>	<b>2,70</b>
<b>COEFICIENTE DE VARIAÇÃO</b>	<b>27%</b>	<b>1%</b>	<b>27%</b>	<b>7%</b>	<b>7%</b>	<b>26%</b>

Fonte: Autor, 2024.

A resistência ao cisalhamento do bambu tratado apresentou valores mais elevados em comparação com o bambu *in natura*, com valores variando de 7,69 MPa a 13,09 MPa. A média geral de 10,36 MPa indica que o tratamento químico com compostos de boro proporcionou um aumento de 25% na resistência ao cisalhamento do bambu. Além disso, seu coeficiente de variação foi de 26% que indica que uma precisão razoável nos dados.

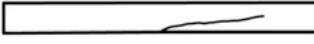
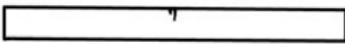
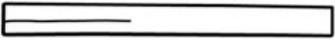
A análise ANOVA para resistência ao cisalhamento apresentou um valor de F de 21,031, com um valor-P de 8,59587E-05, muito inferior ao valor crítico de F (4,196). Esses resultados indicam que há uma diferença estatisticamente significativa entre a resistência ao cisalhamento do bambu *in natura* e do bambu tratado. Portanto, o tratamento químico também impactou positivamente a resistência ao cisalhamento.

#### 4.4 Análise visual da deformação dos corpos de prova

A análise dos modos de falha é fundamental para compreender o comportamento mecânico dos materiais, especialmente em ensaios de tração, compressão e cisalhamento. No caso específico do bambu, as falhas observadas podem fornecer insights sobre a integridade estrutural e a influência do tratamento químico com compostos de boro na resistência do

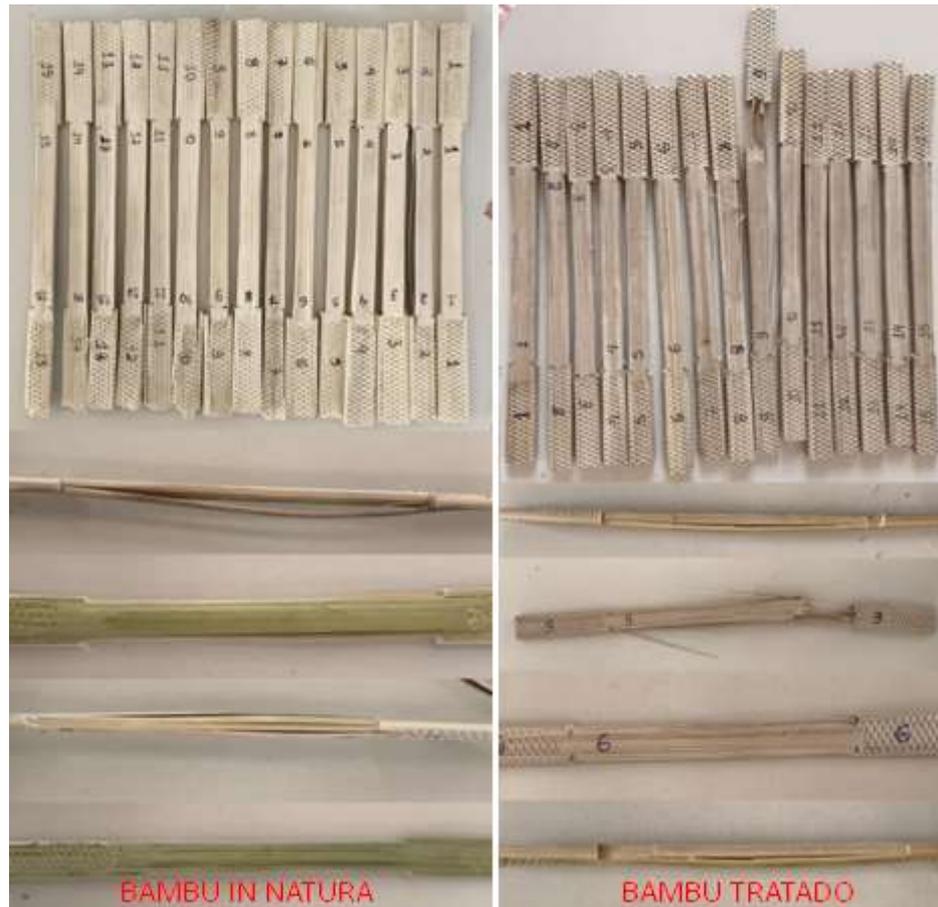
material. Neste estudo, as amostras de bambu foram submetidas a ensaios de tração, compressão e cisalhamento, e os modos de falha encontrados em algumas amostras de bambu foram registradas pra análise e identificação e foram classificadas conforme a norma ASTM D143-14 (Tabela 12).

**Tabela 9.** Tipos de falhas no ensaio de tração.

	Simple Tension (Tensão Simples)
	Cross-Grain Tension (Tensão Transversal)
	Splintering Tension (Tensão Fragmentadora)
	Brash Tension (Tensão impetuosa)
	Compression (Compressão)
	Horizontal Shear (Cisalhamento Horizontal)

Fonte: ASTM – D143-14.

No ensaio de tração, as amostras de bambu *in natura* apresentaram predominantemente falhas por cisalhamento horizontal (HS) conforme pode ser observado na Figura 17, tal resultado é semelhante com o que foi observado nas amostras de Gauss et al. (2020). Este tipo de falha ocorre quando as fibras do bambu deslizam umas sobre as outras, resultando em uma ruptura ao longo do plano de cisalhamento. A Figura 17 ilustra essas falhas, onde é possível observar que, nas amostras tratadas, houve uma maior diversidade de modos de falha, incluindo falhas por tensão fragmentadora (SP) e cisalhamento horizontal (HS). Esse comportamento pode ser atribuído ao efeito do tratamento químico, que pode alterar a coesão entre as fibras e a matriz do bambu.



**Figura 17.** Tipos de falhas em amostras de ensaio de tração no bambu.  
Fonte: Autor, 2024.

A amostra número 9, em particular, apresentou uma falha semelhante à observada por Chahrour (2021), com fissuras propagando-se ao longo da seção transversal. Essa propagação pode ocorrer tanto na direção longitudinal quanto transversal, indicando que as resistências nessas direções estão interligadas. A resistência longitudinal das fibras, apesar de elevada, pode não ser suficiente para evitar a falha transversal caso a ligação entre as fibras e a matriz seja comprometida.

A análise dos modos de falha na seção longitudinal e transversal do bambu revela que esses modos não são independentes, mas estão interligados. A resistência do bambu em uma direção afeta diretamente o comportamento do material na outra direção. Por exemplo, a forte resistência longitudinal das fibras pode retardar a propagação de fissuras que se iniciam na seção transversal, mas, se a ligação entre as fibras e a matriz não for suficientemente robusta, a falha transversal pode ocorrer primeiro, comprometendo a integridade geral do material.

## 5 CONCLUSÃO

A caracterização das propriedades físicas e mecânicas do bambu *Dendrocalamus asper* revelou que o tratamento químico com ácido bórico e bórax melhora significativamente sua resistência à compressão e ao cisalhamento, com aumentos médios de resistência variando de 56,53 MPa a 88,31 MPa para compressão e de 7,69 MPa a 13,09 MPa para cisalhamento, superando os valores do bambu *in natura*. As análises estatísticas (ANOVA) confirmaram que essas diferenças são significativas. Em contraste, a resistência à tração não apresentou variações estatisticamente relevantes entre o bambu tratado e o não tratado, indicando que o tratamento não influencia essa propriedade.

A análise dos modos de falha mostrou que o tratamento químico altera a coesão entre as fibras e a matriz do bambu, resultando em uma diversidade maior de padrões de falha nas amostras tratadas, principalmente nos ensaios de tração. O bambu tratado exibiu falhas por tensão fragmentadora e cisalhamento horizontal, enquanto o *in natura* apresentou falhas predominantemente por cisalhamento horizontal.

Conclui-se que o tratamento com ácido bórico e bórax é eficaz para melhorar a resistência à compressão e ao cisalhamento, tornando o bambu mais adequado para aplicações que demandam resistência a essas forças, mas não oferece vantagens significativas para aplicações onde a tração é predominante. Recomenda-se que estudos futuros explorem o controle do teor de umidade, a durabilidade e a concentração da solução de tratamento para uma compreensão mais abrangente das propriedades do bambu tratado.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. A. USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL: aplicações estruturais e arquitetônicas para um desenvolvimento sustentável. 2019. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2019.

BAMBI, G.; FERRAZ, P. F. P.; FERRAZ, G. A. S.; PELLEGRINI, P.; DI GIOVANNANTONIO, H. Measure of thermal transmittance of two different infill wall built with bamboo cultivated in Tuscany. *Agronomy Research*, v. 17, p. 923-934, 2019. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.130>.

BARBOSA, L. S; MARTINS, M. Carvalho. Estudos e ensaios do bambu: utilização como matéria prima na arquitetura e na construção civil em São João Del-Rei/MG. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 69., 2017, Belo Horizonte. Anais eletrônicos: SBPC/MG, 2017. Disponível em: [http://www.sbpcnet.org.br/livro/69ra/resumos/resumos/2484\\_1bbcb458f6989ff2f77c6ecd2194b4dee.pdf](http://www.sbpcnet.org.br/livro/69ra/resumos/resumos/2484_1bbcb458f6989ff2f77c6ecd2194b4dee.pdf) >. Acesso em: 24/08/2024.

BERNSEN R. S. *et al.* Resistência à flexão estática a à compressão paralela do bambumossô (*Phyllostachys pubescens*). *Revista Floresta*. Curitiba, v. 43, n. 3, p. 485-494, jul./set. 2013.

CAEIRO, J. G. B. M. Construção em bambu. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

CHAHROUR, MUTAZ K., CALÇAS, MD. ATOR, GOH, YINGXIN, TONG, TEONG YEN, SIM, KHADIMALLAH, MOHAMED AMINE. Mecanismos de falha de bambu estrutural usando análises microestruturais, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, 1571905, 10 páginas, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/1571905>

ESPELHO, J. C. C. Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de boucherie modificado. 2007. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

FATTAH, A. R; PRININDYA, K. N. N; ARDHYANANTA, H. The Effect of Chemical Substance and Immersion Time to Tensile Strength of Bamboo Betung (*Dendrocalamus asper*) as Chemical Preservation Treatment. *Journal Of Proceeding Series*. [S. L.], p. 119-124. jan. 2014.

FERREIRA, L. G. R. Qualidade do tratament preservativo de bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad.). 2010. 23 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

GAUSS, C., KADIVAR, M., HARRIES, K. A., & SAVASTANO, H. (2020). Chemical modification of *Dendrocalamus asper* bamboo with citric acid and boron compounds: effects on the physical-chemical, mechanical and thermal properties. *Journal of Cleaner Production*, 123871. doi:10.1016/j.jclepro.2020.123871

GAUSS, C. Preservative treatment and chemical modification of bamboo for structural purposes. 2020. 333 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Engenharia e Ciência dos Materiais, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2020.

GUIMARÃES, R. J. Avaliação do uso de bambu como estrutura em alvenaria de blocos de solo-cimento. 2017. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

HANDANA, M.A.P; SURBAKTI, B; KAROLINA, R. The Effect of Borax Solution as Preservative to the Mechanical Properties of Bamboo. *International Journal Of Sustainable Construction Engineering And Technology*. Indonesia, p. 79-88. 28 out. 2020.

LEITE, F. R. C; CHAVES, F. I. P; BAMBIRRA, J. V de O; MORAIS, S. C. A de; VIEGAS, V.P. A utilização do Bambu na construção civil como fonte de material sustentável. 2023. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Privado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

LIU, T. Improvements in the physical properties and decay resistance of bamboo materials via modification with boric acid and borax. *Bioresources*, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 100-110, 3 nov. 2022. *BioResources*. <http://dx.doi.org/10.15376/biores.18.1.100-110>.

LUDWIG, A. H; SOUZA, L. D. Estudo de caso: Casa de bambu na Ecovila Mãe Terra – Para região de Anápolis. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 73p. 2019.

MARÇAL, V. H. S. et al. Uso do bambu na construção civil: Testes de compressão em corpos de prova cilíndricos da espécie *Dendrocalamus giganteus*. In 6º CONGRESSO LUSO-MOÇAMBICANO DE ENGENHARIA, 2011, Brasília. Anais [...]. Brasília, 2011.

MATSUOKA, J. H. Avaliação da eficiência do ácido pirolenhoso no tratamento preservativo de taliscas de bambu gigante contra a deterioração por fungos. 2011. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

NACCACHE, A. C. A. Tratamentos do bambu como reforço em concreto. Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: PUC-RIO, 2013.

OLIVEIRA, L. F. A. Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil. 2013. Tese (monografia) em construção civil – UFMG, Belo Horizonte, 2013.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. Bambu de corpo e alma. Bauru: Editora Canal 6, 2016.

QUINTERO, C. A. S. Desenvolvimento de uma ligação estrutural para construção com bambu guadua. 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

RIBAS, R. P. Bambu: Planta de grande potencial no desenvolvimento sustentável. 2010.

RIOS, E; SOUZA, E. Uso do bambu na construção civil como elemento estrutural. Orientador: Alex Roque. 18 p. 2022. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil Engenharia Civil, Universidade Salvador, Feira de Santana, 2022. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/28760>.

REUBENS, R. Bamboo in sustainable contemporary design. International for Bamboo and Rattan (INBAR), Working Paper n.60, Beijing, China, 2010.

SANTANA, J. M; KAMADA, R.M. BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL: projeto para alojamento dos professores da etec massuyukikawano. 2015. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Técnico em Desenho em Construção Civil, Escola Técnica Professor Massuyuki Kawano, Tupã, 2015.

SANTOS, N. M; MADALOSSO, V. M. Comparativo de diferentes tipos de tratamentos de bambu para uso na construção civil. 2020. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, 2020.

SCHARFENBERG, H. R. Análise do comportamento mecânico e biológico do bambu gigante (*Dendrocalamus asper*) tratado com cobre e boro. 2020. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, 2020.

SHAN, Q; TONG, K; ZHANG, X; LI, Y. Teste de campo e análise de simulação sobre o desempenho térmico de compósito de aço de bambu em diferentes regiões climáticas. *Advances in Civil Engineering*, v. 2020, p. 1-10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8854156>.

SHARMA, B. *et al.* Engineered bamboo: state of the art. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Construction Materials*, v. 168, n.2, p. 57-67, 2014.

SOUZA, A. P. C. C. Bambu na habitação de interesse social no Brasil. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, Belo Horizonte, v. 11, n. 12, p. 217-245, dez. 2014.

SUZUKI, J. *et al.* Manejo de bambuzais da região de Curitiba visando na produção de varas com potencial de utilização na construção civil, 2014.

TIBURTINO, R. F. Qualidade e eficiência do tratamento preservativo de duas espécies de bambu. 2012. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – UFES, Jerônimo Monteiro, ES, 2012.

TOMBOLATO, A. F. C; GRECO, T. M; PINTO, M. M. Dez espécies de bambus exóticos mais comuns no paisagismo no Brasil. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 105, 22 out. 2012. *Lepidus Tecnologia*.  
<http://dx.doi.org/10.14295/rbho.v18i2.687>

VOGTLANDER, JG; VAN DER LUGT, P. (2015). The environmental impact of industrial bamboo products: Life-cycle assessment and carbon sequestration. (2nd edition ed.) (INBAR Technical Report ; Vol. 35). The International Network for Bamboo and Rattan.