

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**ALANA KAROLYNE DAMETTO DOS SANTOS  
ANA CAROLINE CADORIN**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE LIGAÇÕES PERPENDICULARES E DIAGONAIS EM  
BAMBU DA ESPÉCIE *PHYLLOSTACHYS AUREA*.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

**ALANA KAROLYNE DAMETTO DOS SANTOS  
ANA CAROLINE CADORIN**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE LIGAÇÕES PERPENDICULARES E DIAGONAIS EM  
BAMBU DA ESPÉCIE PHYLLOSTACHYS AUREA**

**Structural analysis of perpendicular and diagonal connections in  
*Phyllostachys aurea* bamboo specie**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Paôla Regina Dalcanal  
Coorientador: Prof. Dr. Fabiano Ostapiv

**PATO BRANCO**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**ALANA KAROLYNE DAMETTO DOS SANTOS  
ANA CAROLINE CADORIN**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DE LIGAÇÕES PERPENDICULARES E DIAGONAIS EM  
BAMBU DA ESPÉCIE PHYLLOSTACHYS AUREA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 25/novembro/2021

---

Paôla Regina Dalcanal  
Doutorado em Engenharia Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

---

Fabiano Ostapiv  
Doutorado em Engenharia Mecânica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

---

Ana Claudia Dal Prá Vasata  
Mestrado em Engenharia Civil  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

---

Heloiza Aparecida Piassa Benetti  
Doutorado em Engenharia da Produção  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Pato Branco

**PATO BRANCO  
2021**

Dedicamos este trabalho aos nossos pais que são os pilares da nossa vida. Por todo o apoio durante os momentos difíceis da nossa trajetória acadêmica.  
Por vocês e para vocês.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida e por proporcionar a força necessária para chegar até aqui.

A minha amiga e dupla de TCC, Ana, pela dedicação neste trabalho e pela parceria durante a caminhada na UTFPR, tenho certeza que será uma grande profissional.

Aos meus pais pelo suporte durante todos os anos de graduação, por serem compreensivos e me apoiarem nos momentos mais difíceis, pelo exemplo e inspiração que sempre foram para mim.

Ao meu irmão Murilo, por entender todas as vezes em que não consegui dar a atenção que gostaria. À minha família por compreender os momentos de ausência.

Ao meu namorado, Matheus, que não só apoiou, como também esteve do meu lado e segurou a minha mão sempre que precisei, mais que um namorado é meu melhor amigo, meu amor e parceiro pra vida.

Aos pais da Ana que foram essenciais no desenvolvimento deste trabalho, que por muitas vezes me receberam em sua casa e que estiveram sempre presentes nos auxiliando.

À nossa orientadora professora Paôla por todo o apoio e orientação que foram essenciais no desenvolvimento deste trabalho. Aos demais professores pelos ensinamentos adquiridos ao longo da graduação.

Aos meus amigos pelo apoio e por entenderem as ausências e todos os momentos em que falei: “não posso, tenho que estudar / fazer meu TCC”. Aos amigos e colegas de graduação que tornaram a caminhada mais leve.

*Alana Karolyne Dametto dos Santos*

Agradeço primeiramente a Deus por permitir vivenciar este momento com saúde. Agradeço a minha dupla, Alana, que aceitou trilhar esse caminho junto a mim, desde a o início deste trabalho e durante a nossa iniciação científica. Sem ela com certeza tudo seria muito mais árduo. Obrigada pela paciência e amizade desde o início da faculdade, você é essencial e será uma baita engenheira.

À nossa orientadora prof Paôla, por estar junto a nós e abraçar nossas ideias com dedicação, sem se limitar por toda ajuda que nos deu, que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Agradecer a banca, prof Helo por todo o ensinamento que contribuiu por estarmos aqui, a prof Ana que deu o ponta pé inicial incentivando e inspirando através de sua dedicação e amor pelo bambu. Ao nosso coorientador, prof Ostapiv, pela ajuda que sempre nos deu. Aos demais professores que contribuíram durante toda a minha trajetória acadêmica.

À Vic, minha afilhada e o Matheus Bez, meu amigão do peito, pela ajuda na montagem das nossas amostras. Ao pessoal do laboratório de engenharia civil, Claudia e Matheus Garbelotto pela ajuda e suporte todos os dias de ensaios.

Agradecer ao meu namorado, Afonso, que sempre se jogou de cabeça comigo em tudo o que eu faço, pelo apoio braçal e moral, por me acolher, me acalmar e tentar me animar todos os dias difíceis. Aos meus pais por todo o apoio, por nunca largarem a minha mão, meu pai, que foi a base para que isso acontecesse, ele sabe o quão bom é no que faz, por toda a ajuda na execução das amostras. Á minha mãe pelos lanchinhos todos os incansáveis dias de montagem das amostras. Á minha família, por torcerem por mim, sou privilegiada em ter a minha família presente em tudo na minha vida, obrigada família, vocês são essenciais.

A minha dupla de estágio, a Adri, pela positividade e calma todos os dias, você é luz. Aos amigos que estão comigo desde o início desse sonho, Isa, André, Zé, Beta, Vivi, Caio e Rafa vocês são tudo pra mim. As minhas colegas da faculdade por todo o apoio durante esse período Elô, Bruna, Aline, Léo e Carol, sentirei saudades. E por fim, aos meus colegas de trabalho da engenharia, Alana, Anderson, Fernanda, Jorge e Luan que torceram por mim e me apoiaram com suas palavras de calma, vocês são maravilhosos e eu amo estar com vocês todos os dias.

*Ana Caroline Cadorin*

## RESUMO

A construção civil causa um grande impacto ambiental, dessa forma a busca por materiais renováveis torna-se necessária. O bambu é uma alternativa para tal pois muitas espécies possuem colmos com características físicas e mecânicas favoráveis a construção civil como leveza, flexibilidade e resistência. Apesar disso, possui grande variabilidade por ser um material anisotrópico e possuir espécies com características diversas. Ao construir com bambu, deve-se atentar as ligações consideradas pontos frágeis nas quais as estruturas costumam colapsar. Dessa forma, o presente estudo analisa o comportamento estrutural de ligações, perpendicular (T) e diagonais (45°), em bambu da espécie *Phyllostachys aurea*, com e sem injeção de argamassa (SA) utilizando areia natural (AN) e artificial (AA). Para isso, executaram-se ensaios de compressão axial nas ligações, determinando a resistência à compressão paralela e perpendicular as fibras do bambu, cisalhamento e deslocamentos, como também o teor de umidade e a densidade das amostras. A partir dos ensaios realizados obteve-se a resistência à compressão diametral média para o colmo superior da ligação perpendicular SA, AN e AA de 0,22 MPa, 0,59 MPa e 0,90 MPa, respectivamente. Para o colmo inferior, encontrou-se a resistência à compressão paralela as fibras de 4,03 MPa para as amostras SA, 11,53 MPa para AN e 17,15 MPa para AA, com teor de umidade entre 13 e 16%. Na ligação diagonal encontrou-se os valores de resistência à compressão médio paralela as fibras de 7,44 MPa para SA, 12,67 MPa para AN e 13,16 MPa para AA com teor de umidade entre 24 e 28%. As ligações com melhor desempenho foram aquelas com adição de argamassa, com destaque para as com areia artificial, demonstrando assim a efetividade da associação do bambu com argamassa para fins estruturais.

**Palavras-Chave:** Análise estrutural. Argamassa. Colmo de bambu. Compressão. Ligação em bambu. Ligação parafusada.

## ABSTRACT

The civil construction is responsible for a great negative environment impact, that way the search for renewable became necessary. Bamboo is an alternative for this, because many species have culms with physical and mechanical favorable characteristics for civil construction, like lightness, flexibility and resistance, although it has a big variability because it is an anisotropic material and it has species with different characteristics. When constructing with bamboo, it must pay attention to the connections, considered fragile points where structures usually collapse. That way, the present study analyses the behavior of perpendiculars (T) and diagonals connections of the bamboo species *Phyllostachys aurea*, with and without mortar injection (SA), using natural (AN) and artificial sand (AA), for that, were executed axial compression tests in the connections, determining the parallel and perpendicular to the fibers compression, the shear stress and displacement, it was determined the moisture and the density of the samples. As of the tests accomplished, it was obtained the diametral compression resistance to the superior culm of perpendicular connections SA, AN e AA de 0,22 MPa, 0,59 MPa e 0,90 MPa, respectively. To the inferior culm, it was found the parallel to the fibers compression resistance of 4,03 MPa to the SA samples, 11,53 MPa to the AN and 17,15 MPa to AA, with moisture between 13 and 16%. In diagonal connections, it was found the medium compression resistance of 7,44 MPa to SA, 12,67 MPa to AN and 13,16 MPa to AA with moisture between 24 and 28%. The connections with the best performance were those with addition of mortar, with emphasis to those with artificial sand, demonstrating the effectiveness of association of bamboo with mortar to structural purposes.

**Keyword:** Bamboo connections. Bamboo culm. Compression. Mortar. Screwed connection. Structural analysis.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Resíduos sólidos decorrentes da construção civil .....	19
Figura 2 - Ponte em bambu.....	22
Figura 3 – Pavilhão em bambu.....	23
Figura 4- Terminal <i>Aguablanca</i> na Colômbia .....	24
Figura 5 – Aeroporto <i>Barajas</i> .....	24
Figura 6 - Casa de pau a pique com estrutura armada em bambu .....	25
Figura 7 – Sala de diálogos de verão em Cotia/SP .....	26
Figura 8 – Centro comunitário de <i>Cambury</i> em Ubatuba/SP .....	26
Figura 9 – Centro de cultura <i>Max Feffer</i> .....	27
Figura 10 - Pavilhão em Mairiporã/SP .....	27
Figura 11 – Espécie <i>Phyllostachys aurea</i> .....	28
Figura 12 - Estrutura do bambu.....	29
Figura 13 – Tipo de crescimento do rizoma do bambu .....	30
Figura 14 - Densidade das fibras no colmo do bambu .....	31
Figura 15 - Formação do diafragma do colmo de bambu.....	32
Figura 16 - Direções das fibras do colmo do bambu .....	32
Figura 17 - Cortes mais comuns para ligações em bambu .....	38
Figura 18 - Ligação perpendicular com barra roscada.....	39
Figura 19 - Ligação perpendicular com barra roscada.....	40
Figura 20 – Ligações 45° estudadas por Suarez e Manrique.....	41
Figura 21 – Ensaio com treliça .....	42
Figura 22 – Ruptura de treliça na ligação diagonal .....	42
Figura 23 - Fluxograma da metodologia de trabalho.....	45
Figura 24 – Bambuzal Parque do Alvorecer.....	46
Figura 25 - Projeto da ligação perpendicular (T) .....	47
Figura 26 - Projeto da ligação perpendicular (45°).....	47
Figura 27 – Equipamentos de corte e perfuração .....	49
Figura 28 – Execução dos furos para receber as barras roscadas .....	49
Figura 29 - Execução da boca de peixe no colmo inferior da ligação T .....	50
Figura 30 – Execução do gancho na barra roscada de 6 mm.....	50
Figura 31 – Execução da boca de flauta no colmo diagonal da ligação 45° .....	51

Figura 32 - Execução do furo no colmo inclinado.....	51
Figura 33 - Execução de dobra para ligação 45° .....	52
Figura 34 -Retirada do diafragma do colmo de bambu .....	53
Figura 35 - Execução do furo para injeção de argamassa nos colmos .....	54
Figura 36 - Preenchimento de argamassa nas ligações .....	54
Figura 37 – Preenchimento de argamassa nos colmos .....	55
Figura 38 – Ensaio de resistência a compressão ligação T .....	56
Figura 39 - Medição do diâmetro interno e externo do colmo do bambu .....	57
Figura 40 – Ensaio de resistência a compressão ligação 45° .....	58
Figura 41 - Amostras no dessecador .....	59
Figura 42 - Colmos de bambu para determinação da densidade.....	61
Figura 43 - Modo de ruptura ligação T sem argamassa.....	65
Figura 44 – Ruptura no colmo inferior da ligação T sem argamassa .....	66
Figura 45 – Modo de ruptura da ligação T com argamassa de areia artificial .....	66
Figura 46 – Ruptura no colmo superior da ligação T com argamassa de areia artificial .....	67
Figura 47 – Esmagamento das fibras do colmo superior no local de aplicação da carga .....	67
Figura 48 – Tensão de compressão diametral para o colmo superior da ligação T por amostra e variação da ligação.....	68
Figura 49 – Comparativo dos valores de ensaio e admissíveis de norma para compressão diametral da ligação T.....	69
Figura 50 – Tensões resistente de compressão de acordo com o comprimento entrenós .....	69
Figura 51 – Tensão de compressão paralela as fibras para o colmo inferior ligação T por amostra e variações da ligação.....	70
Figura 52 – Comparativo de valores de ensaio e de referências para compressão paralela as fibras da ligação T.....	71
Figura 53 – Modo de ruptura ligações 45° sem argamassa .....	72
Figura 54 – Modo de ruptura predominante em ligações 45° com argamassa .....	72
Figura 55 – Modos de ruptura distintos ligação 45° com argamassa .....	73
Figura 56 – Tensão de compressão paralela as fibras para o colmo inclinado das ligações 45° .....	73

Figura 57 –Comparativo entre valores de ensaio e admissíveis de norma para resistência à compressão da ligação 45° .....	74
Figura 58 – Tensão de compressão diametral do colmo reto da ligação 45° .....	75
Figura 59 – Tensão de cisalhamento do colmo reto da ligação 45° .....	76
Figura 60 – Deformação em ligação T .....	80
Figura 61 – Gráfico tensão x deformação .....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedade física da espécie <i>Phyllostachys aurea</i> .....	36
Tabela 2 - Tensões admissíveis das normas equatoriana e peruana .....	36
Tabela 3 – Propriedades mecânicas da espécie <i>Phyllostachys aurea</i> .....	37
Tabela 4 - Caracterização dos agregados miúdos .....	53
Tabela 5 - Teor de Umidade.....	63
Tabela 6 – Dimensões das Ligações T .....	64
Tabela 7 – Dimensões das Ligações 45° .....	64
Tabela 8 – Resistência à compressão diametral do colmo superior (CS) da ligação T .....	68
Tabela 9 – Resistência à compressão paralela as fibras do colmo inferior (CI) da ligação T.....	70
Tabela 10 – Resistência a compressão paralela as fibras do colmo inclinado (CIN) da ligação 45° .....	74
Tabela 11 – Resistência à compressão diametral do colmo reto (CR) da ligação 45° .....	75
Tabela 12 – Resistência ao cisalhamento do colmo reto (CR) da ligação 45° .....	76
Tabela 13 – Leituras de deslocamentos para a amostra 4 da ligação T sem argamassa .....	78
Tabela 14 – Deslocamentos máximos .....	79
Tabela 15 – Módulo de elasticidade .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 16 – Dimensões, força e tensão por amostra em T.....	90
Tabela 17 - Dimensões, força e tensão por amostra em 45° .....	91

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de secagem do colmo de bambu.....	34
Quadro 2 - Estudos com a substituição da areia natural pela artificial em argamassas .....	44
Quadro 3 – Nomenclatura adotada .....	63

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1	<b>Objetivos</b> .....	17
1.1.1	Objetivo geral .....	17
1.1.2	Objetivos específicos .....	17
1.2	<b>Justificativa</b> .....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b> .....	<b>19</b>
2.1	<b>Construção civil e o meio ambiente</b> .....	19
2.1.1	Geração de resíduos na construção civil .....	19
2.1.2	Construções sustentáveis .....	20
2.2	<b>Estruturas em bambu</b> .....	21
2.2.1	Utilização do bambu na construção civil como material estrutural .....	21
2.3	<b>Espécies de bambu no brasil</b> .....	27
2.4	<b>Características do bambu</b> .....	28
2.4.1	Morfologia do bambu .....	28
2.4.2	Cultivo, manejo e tratamento do bambu .....	33
2.4.3	Propriedades Físicas .....	35
2.4.4	Propriedades Mecânicas .....	36
2.4.4.1	<u>Propriedades Mecânicas da espécie <i>Phyllostachys aurea</i></u> .....	37
2.5	<b>Estruturas de cobertura e suas ligações</b> .....	38
2.5.1	Ligações em bambu .....	38
2.5.2	Ligações perpendiculares .....	39
2.5.3	Ligações diagonais .....	40
2.5.4	Ligações utilizando argamassa .....	43
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>45</b>
3.1	<b>Abordagem da pesquisa</b> .....	45
3.2	<b>Seleção, coleta e secagem do bambu</b> .....	46
3.3	<b>Projeto das ligações</b> .....	47
3.4	<b>Montagem dos corpos de prova</b> .....	48
3.4.1	Ligação perpendicular .....	49
3.4.2	Ligação Diagonal .....	51
3.4.3	Ligações com argamassa .....	52

<b>3.5</b>	<b>Determinação da resistência à compressão das ligações</b> .....	<b>55</b>
3.5.1	Ligações perpendiculares .....	55
3.5.2	Ligações diagonais.....	58
<b>3.6</b>	<b>Teor de umidade</b> .....	<b>59</b>
<b>3.7</b>	<b>Módulo de elasticidade à compressão paralela as fibras</b> .....	<b>60</b>
<b>3.8</b>	<b>Densidade</b> .....	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>63</b>
<b>4.1</b>	<b>Características físicas das amostras</b> .....	<b>63</b>
<b>4.2</b>	<b>Ensaio com ligações perpendiculares</b> .....	<b>65</b>
4.2.1	Modos de ruptura .....	65
4.2.1.1	<u>Ligações perpendiculares sem argamassa</u> .....	65
4.2.1.2	<u>Ligações perpendiculares com argamassa de areia natural</u> .....	66
4.2.1.3	<u>Ligações perpendiculares com argamassa de areia artificial</u> .....	67
4.2.2	Tensão Resistente .....	67
<b>4.3</b>	<b>Ensaio com ligações diagonais</b> .....	<b>72</b>
4.3.1	Modos de ruptura .....	72
4.3.2	Tensão Resistente .....	73
<b>4.4</b>	<b>Deformações e módulo de elasticidade</b> .....	<b>77</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>82</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE A – DIMENSÕES E TENSÕES POR AMOSTRA</b> .....	<b>90</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento da população urbana nas cidades ao longo dos anos acarreta um crescimento da construção civil, que deve suprir as demandas da infraestrutura urbana. Com isso, cresce também o consumo de materiais de construção, gerando um aumento nos resíduos sólidos produzidos pelo setor (PALAMIN, 2016). A construção civil é considerada por Cardoso (2017) destaque na geração de resíduos sólidos no Brasil, sendo responsável por produzir 50% dos resíduos no país.

Com o grande impacto da construção civil no meio ambiente, a busca por materiais renováveis vem se tornando um fator relevante e necessário. Neste contexto, o bambu é uma boa alternativa para tal, pois é um material renovável e de baixo custo. Somado a isso, Filgueiras e Viana (2017) afirmam que esta planta pode substituir a madeira e o aço para fins estruturais pela alta resistência e durabilidade que suas propriedades físicas e mecânicas proporcionam, semelhante aos materiais convencionais da construção civil. Além desta grande vantagem, o bambu é favorável para a construção civil em virtude do seu rápido crescimento, flexibilidade e leveza, promovendo redução no próprio peso da estrutura (SOARES, 2013 e OLIVEIRA, 2013).

As características favoráveis do bambu para a construção são evidenciadas pela utilização deste material desde a antiguidade, em especial nos países orientais e em alguns países da América Latina. No mundo existem aproximadamente 1300 espécies de bambu e o Brasil é o segundo país com mais espécies nativas da planta, ficando apenas atrás da China (LIBRELOTTO e OSTAPIV, 2019). Apesar disso, o bambu é primordialmente utilizado no país para decoração e em produtos manufaturados, porém ainda não tão adotado nas estruturas civis.

O estudo do comportamento estrutural das ligações em bambu é ainda pouco explorado no contexto nacional, porém vem ganhando espaço no meio acadêmico da construção civil, fato evidenciado pelo lançamento da norma NBR 16828-1 - Estruturas de Bambu (ABNT, 2020), a qual determina os métodos para o dimensionamento das mesmas.

A fim de melhorar a resistência da estrutura em bambu, uma sugestão da NBR 16828-1 (ABNT, 2020) é a utilização de argamassa nos entrenós das ligações. Neste sentido, para reduzir o impacto ambiental, substituir a argamassa com areia natural pela areia artificial é uma alternativa viável para o meio ambiente (ISHIKAWA, 2013).



Holsbach (2004) comenta que a diminuição da extração da areia natural influencia no ecossistema evitando o assoreamento dos rios e lagos, visto que esta atividade pode provocar ao longo do tempo acúmulo de sedimentos prejudicando a biodiversidade das espécies.

Dessa forma, o presente trabalho estuda o comportamento de ligações perpendiculares e diagonais em bambu da espécie *Phyllostachys aurea*, com e sem injeção de argamassa utilizando areia natural e artificial, sujeitas ao esforço de compressão axial. Assim o trabalho procura responder ao seguinte questionamento: como as ligações dos colmos em bambu, com e sem argamassa com diferentes tipos de agregado miúdo, comportam-se sob a ação de esforços de compressão?

O trabalho foi estruturado em capítulos, o primeiro é composto pela introdução, objetivos e justificativa do estudo. O segundo contém a revisão bibliográfica, contextualizando o bambu e esclarecendo conceitos sobre sua utilização para fins estruturais, bem como estudos já realizados em ligações de colmos de bambu. Na sequência, o terceiro capítulo aborda a metodologia do trabalho, o quarto trata dos resultados da caracterização física do bambu e dos ensaios e análise das ligações e, por fim, as considerações finais e referências bibliográficas.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Determinar o comportamento de ligações perpendicular (T) e diagonal (45°) em bambu da espécie *Phyllostachys aurea*, com e sem argamassa, sujeitas ao esforço de compressão axial segundo a ABNT NBR 16828-1/2020.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Realizar o ensaio de compressão axial perpendicular às fibras nas ligações utilizando barra roscada e as recomendações da ABNT NBR 16828-1/2020.
- Analisar o comportamento das ligações com e sem argamassa quando sujeitas à compressão axial, considerando areia natural e artificial como agregado miúdo de acordo com as recomendações da ABNT NBR 16828-1/2020.
- Comparar os resultados obtidos nos ensaios e avaliar qual a variação de ligação mais indicada para utilização estrutural.

## 1.2 Justificativa

A construção civil é considerada um setor com grande impacto ambiental negativo, por isto encontrar alternativas sustentáveis é imprescindível. O bambu é uma alternativa, visto que é utilizado há milênios para fins construtivos. A primeira construção em bambu é datada de mais de 9.500 anos atrás, encontrada no Equador (LÓPEZ, 2003).

O bambu é um material fácil de se obter, o seu crescimento é acelerado, além de ser flexível e leve, proporcionando menor peso para a estrutura para uma mesma capacidade de carga (SOARES, 2013). Além destas propriedades, Silva (2010) mostra que este material apresenta resistência comparada com a da madeira e do aço. Estas propriedades, em conjunto com o viés sustentável da planta, fazem dele um material com potencial para substituir os materiais convencionais na construção.

A quantidade crescente de estudos e de construções em bambu deu origem à norma brasileira ABNT NBR 16828-1/2020, que trata das estruturas em bambu. Mas, muitos estudos ainda não aprimoraram algumas particularidades, como por exemplo a forma de realização de ligações, principalmente para espécies com diâmetros pequenos, bem como a utilização da argamassa de preenchimento a fim de melhorar as condições de resistência da ligação em bambu. Desta maneira, este trabalho é considerado original uma vez que será analisada a resistência de dois tipos de ligações específicas deste material, com e sem a injeção de argamassa, avaliando qual delas apresenta o melhor desempenho estrutural, utilizando o bambu da espécie *Phyllostachys aurea*.

Para o desenvolvimento deste trabalho são realizados ensaios laboratoriais de amostras em bambu com e sem preenchimento de argamassa utilizando-se os equipamentos disponibilizados pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Pato Branco (UTFPR-PB) e as normas regulamentadoras referentes aos ensaios, o que tornou o trabalho viável.

## 2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

### 2.1 Construção civil e o meio ambiente

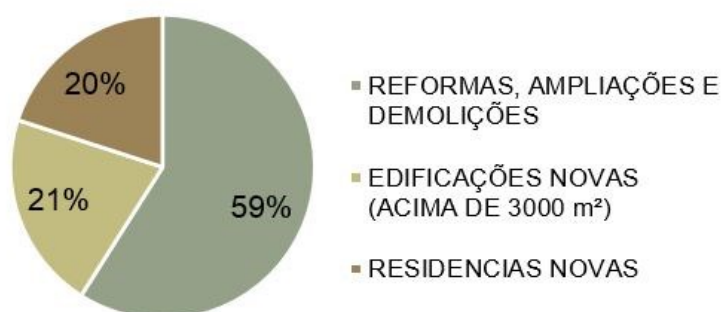
#### 2.1.1 Geração de resíduos na construção civil

A indústria da construção civil é uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social sendo responsável diretamente pela estrutura urbana das cidades. Por outro lado, segundo Martins e Macêdo (2015), apresenta ameaças ao meio ambiente pela grande geração de resíduos sólidos, além de outros impactos como exploração de reservas naturais, grande emissão de CO<sub>2</sub> e utilização de energia e água em grande quantidade em seus processos.

Sabe-se que na maioria dos municípios o descarte dos entulhos das construções é feito de maneira incorreta ou em lixões/aterros (SANTOS, 2012). Sendo este um problema para o ambiente, os resíduos descartados de maneira incorreta podem acarretar em assoreamento dos rios, entupimento de bueiros, destruição das áreas verdes ou ainda proliferação de insetos prejudiciais à saúde da população, além da contaminação do solo e da água subterrânea (BBK Ambiental, 2020).

Conforme Santos (2012), o volume dos resíduos provenientes da construção civil pode atingir até duas vezes o volume do lixo sólido urbano. A indústria da construção civil produz cerca de 50% dos resíduos sólidos no país, totalizando 45 milhões de toneladas em 2014 (CARDOSO 2017 e GOMES *et al.*, 2019), equivalente a aproximadamente 213,5 kg/habitante por ano no Brasil, conforme o panorama realizado pela ABRELPE (2020). Dentre os resíduos sólidos decorrentes da construção civil quase 60% do total são provenientes de reformas, ampliações e demolições (figura 1).

Figura 1 - Resíduos sólidos decorrentes da construção civil



Fonte: Adaptado de Santana, 2016.

Desta forma, uma alternativa para tal situação é diminuir o volume desses resíduos prejudiciais utilizando, por exemplo, materiais biodegradáveis. Além disso, segundo Thorns (2018), estes materiais são pontos positivos para o desenvolvimento da sustentabilidade, pela capacidade de degradação de forma natural e sem prejudicar o meio ambiente. Fato este que reduz a poluição no ambiente contribuindo com a redução dos resíduos provenientes da construção civil (CRUZ, 2020). Torna-se necessário salientar que toda e qualquer construção há necessidade de manutenção e como o bambu é um material orgânico será necessário a longo prazo fazer a troca de algumas peças por novas. Desta forma, Júnior (2014) ressalta que as peças descartadas podem ser trituradas e devolvidas ao meio ambiente na forma de adubo que contribui para as novas produções de colmos de bambu.

A construção civil é responsável por usufruir de 40 a 75% dos recursos naturais disponibilizados no ambiente (PERES, 2012). Neste sentido, de nada adianta reduzir a quantidade de resíduos sólidos se a exploração dos recursos naturais não é feita de forma consciente. Conforme Lima e Neves (2016), 35% da areia natural é destinada a produção de argamassa e de acordo com Holsbach (2004), diminuir a extração da areia natural pode evitar futuros problemas ambientais como assoreamento nos rios, que a longo prazo pode prejudicar a biodiversidade das espécies devido ao acúmulo dos sedimentos. Neste sentido, a substituição da areia natural pela areia de britagem também pode ser vista como um ponto positivo para o desenvolvimento sustentável visto que coopera para a preservação ambiental.

### 2.1.2 Construções sustentáveis

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2017), há um consenso global sobre a necessidade de desenvolvimento de estratégias para preservação do meio ambiente. Isto é evidenciado pelas conferências internacionais que debatem e propõem estratégias para o desenvolvimento sustentável, como a Cúpula da Terra do Rio, em 1992, a COP 21, em 2015, também conhecida como Conferência do Clima de Paris. Esses debates possibilitaram a elaboração de propostas como a Agenda 21, que vem sendo implementada ao longo dos últimos anos.

A consciência sobre os problemas ambientais e a grande interferência da construção civil no meio, levam ao desenvolvimento de novas tecnologias e à busca

de materiais que colaborem com o desenvolvimento sustentável e com construções com impacto ambiental reduzido (MANZINI e VEZZOLI, 2002).

O futuro requer soluções sustentáveis para a construção, diante disso, o setor tem desenvolvido tecnologias e materiais sustentáveis. No Brasil, uma ferramenta importante para avaliação do desempenho ambiental dos materiais é a avaliação do ciclo de vida que é regida pela NBR ISO 14040/2001 – Gestão Ambiental, avaliação do ciclo de vida: Princípios e estruturas. Esta norma descreve os princípios e a estrutura de uma avaliação de ciclo de vida (ACV), esta avaliação enfoca nos impactos ambientais desde a aquisição da matéria prima até a disposição final.

Neste contexto, a CNI (2017) relata que os consumidores têm buscado empresas com certificações ambientais, para atender ao mercado. As construtoras e empresas do ramo da construção civil estão buscando soluções sustentáveis, que atendam essas demandas e também às crescentes exigências ambientais.

A fim de reduzir o impacto ambiental e em concordância com a sustentabilidade a escolha de materiais biodegradáveis é crucial. Neste âmbito, uma alternativa é a utilização do bambu, que é um material biodegradável e segundo Cruz (2020) está em uso a séculos na arquitetura. Além da estética, o bambu também traz vantagens pelas suas características mecânicas, sua resistência à compressão equivale a do concreto enquanto que a de tração à do aço (SOUZA, 2017). Além do bambu, existem outros materiais que podem ser utilizados, como os tijolos ecológicos, tinta biodegradável, telha ecológica, cortiça, madeira, entre outros. Outro caminho é a reutilização de resíduos sólidos derivados de outras matérias primas, como por exemplo a areia artificial, que é proveniente da britagem das rochas.

## **2.2 Estruturas em bambu**

### **2.2.1 Utilização do bambu na construção civil como material estrutural**

O bambu é utilizado desde a antiguidade para fins construtivos, principalmente por suas características favoráveis à construção civil, compara-se aos materiais tradicionais quanto à resistência mecânica, sendo ainda econômico, durável e de fácil manuseio, pois exige ferramentas simples para o corte e montagem (MURAD, 2007). Além disso, as exigências atuais quanto à preservação ambiental estão fazendo com que o bambu assuma importante papel nas construções

contemporâneas, aliado a outros materiais, novas técnicas, normas e estudos criados por profissionais da construção (PADOVAN, 2010).

Existem diversas técnicas construtivas com bambu, Beraldo e Aleixo (2019), mencionam que no Brasil utiliza-se a técnica colombiana, caracterizada pela simplicidade de aplicação e utilização de elementos construtivos de fácil obtenção.

Beraldo e Aleixo (2019), determinam que os pontos cruciais para o dimensionamento e detalhamento de uma estrutura em bambu são: a cobertura e peso da mesma; a forma da cobertura; os vãos a serem vencidos; as vedações e outras cargas atuantes sobre a estrutura; os sistemas de ligações; a distribuição dos esforços e os apoios e fundações.

Entre as principais aplicações do bambu estão as construções rurais e de interesse social, uma vez que a planta pode ser empregada em todos os elementos construtivos, inclusive na estrutura. A versatilidade do bambu, permite ainda a utilização em pontes, estruturas de cobertura e até mesmo como reforço para concreto, além disso, nos países orientais, o bambu é muito utilizado como estrutura para andaimes e escoramento (JAYANETTI E FOLLETT, 1998).

A figura 2 apresenta uma ponte para pedestres em bambu com 18 metros de vão, conectando o *Pasar Gede* e o Forte Colonial holandês *Vastenburg*, na cidade de Java na Indonésia.

**Figura 2 - Ponte em bambu**



**Fonte: Fitrianto, 2017.**

A figura 3 mostra um pavilhão em bambu localizado no Bambu parque, em Portugal, local destinado para prática de ioga e meditação. A estrutura octogonal

converge para o centro formando uma cobertura similar à uma cúpula (RUGGIERO, 2015).

**Figura 3 – Pavilhão em bambu**



**Fonte: Ruggiero, 2015.**

Além do bambu em colmos, este ainda pode ser utilizado de forma processada, em tiras, como bambu laminado colado ou até mesmo associado aos materiais convencionais, como o concreto por exemplo (XIAO *et al.*, 2018).

Segundo Murad (2007), o bambu é tradicionalmente utilizado em países tropicais e subtropicais, onde a planta cresce em abundância. As primeiras construções em bambu remontam aos primórdios da humanidade, em especial nos países orientais, como China, Japão, Indonésia e Filipinas. A importância da planta na construção destes países, pode ser representada pelo *Taj Mahal*, em Agra na Índia, o qual teve seu domo originalmente construído em bambu.

Na América, as construções em bambu são datadas de 7.500 A.C. (LOPEZ, 2003). Segundo Padovan (2010), países como Colômbia, Costa Rica e Equador apresentam projetos que vão desde habitações populares até obras de grande porte, pavilhões e edifícios multifamiliares.

Além do viés tradicional e histórico do bambu, várias edificações no mundo servem como exemplo da ampla versatilidade arquitetônica do bambu em construções contemporâneas, como as do arquiteto colombiano Simon Velez (figura 4).



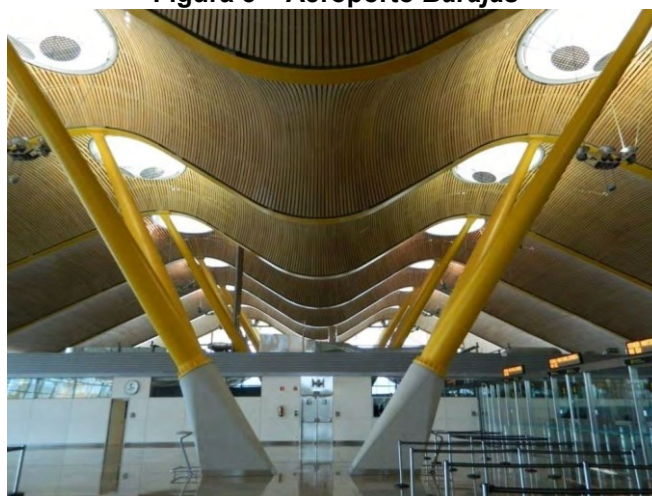
**Figura 4- Terminal *Aguablanca* na Colômbia**



**Fonte: El Pais, 2014.**

Uma obra de grande destaque, é o aeroporto *Barajas* em Madrid na Espanha (figura 5), pela presença do telhado sinuoso constituído de réguas de bambu laminado. Esta obra foi projetada pelo *Estudio Lamela Arquitectos*, na Espanha juntamente com a empresa italiana *Richard Rogers Partnership* (RUGGIERO, 2015).

**Figura 5 – Aeroporto *Barajas***

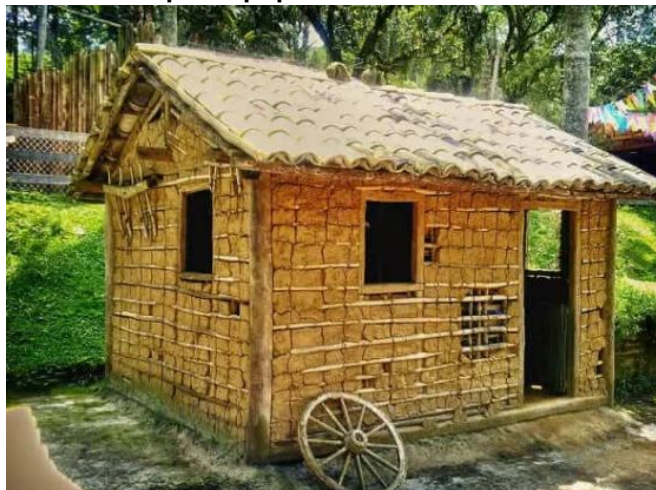


**Fonte: Ruggiero, 2015.**

No Brasil, o bambu vem sendo utilizado desde a época colonial em casas feitas de pau a pique em que a estrutura era armada com bambu (ou madeira) e preenchidas com barro e fibras (CRUZ, 2019). A figura 6 apresenta uma construção de pau a pique utilizando o bambu como armação da estrutura.



**Figura 6 - Casa de pau a pique com estrutura armada em bambu**



**Fonte: Kleine, 2020.**

Atualmente, a utilização do bambu é um pouco restrita no país devido à ausência de tradição desta matéria prima, além da falta de conhecimento e tecnologias adequadas para seu emprego (ANDRADE e AMARAL, 2017). Porém, desde 2005, vem ocorrendo eventos científicos que destinam parte da programação à apresentação de trabalhos sobre o bambu, além do apoio institucional de grupos de pesquisas para tal.

No ano de 2011, foi criada a Lei n.º 12.484 para incentivar o cultivo do bambu com o objetivo de desenvolver a cultura do bambu no Brasil tanto pelas ações governamentais quanto por empreendimentos privados. E em 2017, o governo federal se filiou a *International Network for bamboo and Rattan* (INBAR) que é uma rede que disponibiliza informações importantíssimas sobre o bambu. Ainda neste contexto, em 2018 foi criada a Associação Brasileira do Bambu (BambuBr) que tem o objetivo de contribuir com o desenvolvimento da cadeia produtiva do bambu no Brasil, desenvolvendo projetos e pesquisas de tecnologia e inovação para novos sistemas de produção e uso do bambu.

Mesmo o Brasil não possuindo uma cultura da disseminação do bambu na construção civil como é nos países orientais, existem algumas construções com este material, Ruggiero (2015) relata algumas destas obras.

A primeira, é a sala de diálogos de verão localizado em Cotia – SP, obra concluída em 2003 (figura 7), que possui treliças em bambu com conexões feitas através de peças metálicas e um vão de 16 metros.

**Figura 7 – Sala de diálogos de verão em Cotia/SP**



**Fonte: Rugeiero, 2015.**

Outra obra, também localizada no estado de São Paulo, é o Centro comunitário de *Cambury* (figura 8), na cidade de Ubatuba, concluída em 2006, e construída com pilares de quatro colmos de bambu que sustentam o telhado inteiramente construído em bambu.

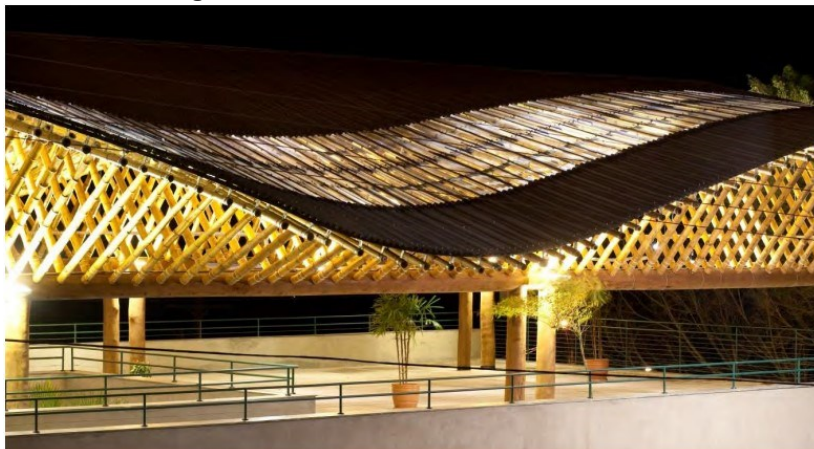
**Figura 8 – Centro comunitário de *Cambury* em Ubatuba/SP**



**Fonte: Rugeiero, 2015.**

Em 2008, no município de Pardinho – SP, foi concluído o Centro de cultura *Max Feffer* (figura 9). O diferencial desta obra é o seu telhado construído totalmente em bambu de forma sinuosa composto por duas águas.

**Figura 9 – Centro de cultura *Max Feffer***



**Fonte: Ruggiero, 2015.**

Ainda pode-se destacar a construção de um Pavilhão, construído para eventos com amigos e familiares, localizado no município de Mairiporã – SP, e concluído em 2014 (figura 10). Sua estrutura é inteiramente de bambu, desde os pilares, cobertura até a estrutura interna, como escadas e sustentação do piso superior. Neste pavilhão os encaixes foram feitos de barras roscadas com ganchos para unir os colmos entre si, a mesma ligação que é objeto de estudo deste trabalho.

**Figura 10 - Pavilhão em Mairiporã/SP**



**Fonte: Ruggiero, 2015.**

### **2.3 Espécies de bambu no brasil**

Existem aproximadamente 1300 espécies e mais de 90 gêneros de bambu pelo mundo (SOARES, 2013), o Brasil apresenta uma grande diversidade



correspondente à 20% das espécies de bambu no mundo conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018). O país conta com 258 espécies distribuídas em 35 gêneros, sendo 68% endêmicas, ou seja, que crescem somente em uma determinada região geográfica. Na construção civil os bambus mais utilizados são aqueles pertencentes à família *Bambuseae* que no Brasil possui 18 gêneros e 165 espécies (FILGUEIRAS e VIANA, 2017).

Além das espécies nativas, o Brasil conta com diversos bambus exóticos, como a espécie *Phyllostachys aurea* (figura 11), originária da China e que foram introduzidas em regiões tropicais, subtropicais e de clima temperado, como a América.

**Figura 11 – Espécie *Phyllostachys aurea***



**Fonte: Autores, 2021.**

Também conhecida como bambu-mirim, taquara, bambu-vara-de-pescar e cana-da-índia, a espécie *Phyllostachys aurea* é muito utilizada na construção de casas e cercas vivas, para conter a erosão do solo e também em itens artesanais. É considerado um bambu de porte médio-alto, podendo chegar a 12 metros de altura, uma das suas características é o colmo de tonalidade amarelada quando exposto ao sol (PASTORE *et al.*, 2012), com diâmetros variando entre 4 a 6 cm conforme Nascimento (2019).

## **2.4 Características do bambu**

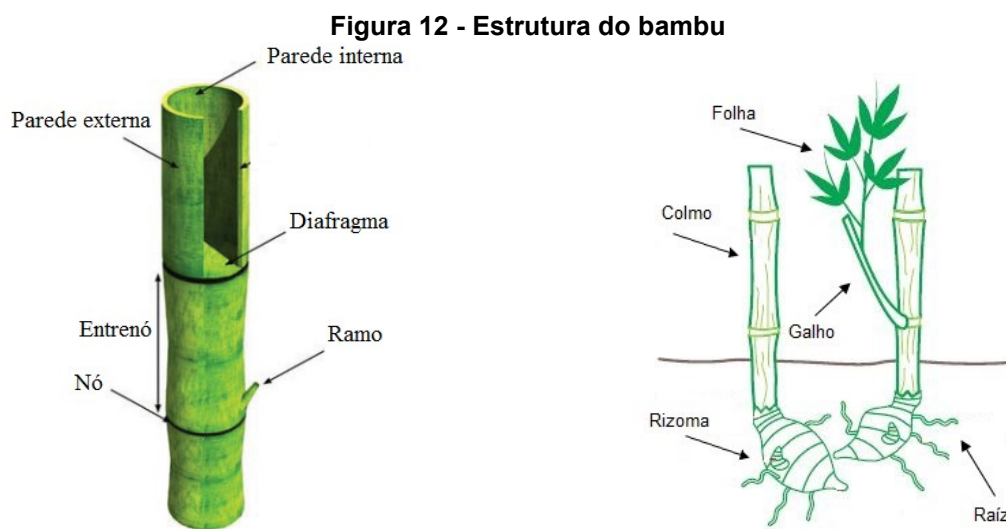
### **2.4.1 Morfologia do bambu**

O bambu é uma planta que pertence à família das *gramíneas* e subfamília *Bambusoidae* (SOARES, 2013). A planta é classificada em duas diferentes tribos, *Bambusae* e *Olyrae* com espécies de porte maior de colmos lenhosos e espécies de

menor porte de colmos herbáceo, respectivamente (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A *gramínea*, tem suas sementes protegidas que podem gerar frutos e suas raízes não possuem um eixo principal, por isto, conforme Mauricio (2016) o bambu ainda é classificado como angiosperma e monocotiledônea.

O bambu permite a passagem de luz através de suas moléculas e por isto é considerado um material polimérico; suas propriedades mecânicas são diferentes conforme a direção de suas fibras daí sua classificação como material anisotrópico. Já a sua propriedade térmica independe da direção das fibras e então é considerado material ortotrópico; e, por fim, é um material higroscópico, pois seus colmos dilatam de acordo com a umidade local (CRUZ, 2002).

A estrutura do bambu, apresentada na figura 12, é dividida em duas partes: aérea e subterrânea. A primeira é formada por uma série alternada de nós e entrenós, colmos cilíndricos ocos, galhos e folhas, já a parte subterrânea é composta por rizomas e raízes (CRUZ, 2002).



a) Parte aérea da estrutura do bambu

b) Parte subterrânea da estrutura do bambu

**Fonte: a) Kaminsk Lawrence e Trujilo (2016); b) Oliveira (2017) adaptadas pelos autores.**

A parte aérea do bambu é chamada de colmo, geralmente possui seção cilíndrica e tem uma grande diversidade em sua forma. Conforme Oliveira (2017), os colmos podem ser ocos ou medulosos, eretos ou arqueados e ainda escandentes que não possuem estrutura para escalada em outra superfície. Além de sua forma cilíndrica, o bambu já nasce com o seu diâmetro máximo e vai afunilando conforme o seu rápido crescimento vertical, uma vez que o crescimento do colmo do bambu não

se dá de forma radial (SILVA, 2010). Castro (2010) relata que no máximo em 30 dias para as espécies de pequeno porte e 180 dias para as de maior porte completem o seu crescimento, podendo crescer até 1 metro por dia.

Os nós do colmo estão separados por diafragmas que, segundo Pereira (2012), são estruturas que fornece maior rigidez, flexibilidade e resistência aos colmos. As folhas do bambu podem ser de dois tipos, aquelas que ficam no colmo e as folhas de ramos, diferenciadas pelas suas funções. Aquelas que ficam no colmo do bambu têm função principal de proteger o colmo quando jovem, já aquelas presentes nos ramos, são responsáveis pelas atividades de fotossíntese, respiração e transpiração da planta (CARDOSO, 2017).

O rizoma, pertencente à parte subterrânea do bambu é responsável pelo crescimento de novos colmos que depende dos nutrientes que são fornecidos pelo rizoma e também pelos colmos mais velhos (CASTRO, 2010). O rizoma, pode ser dividido em dois diferentes tipos de acordo com seu crescimento: alastrantes e entouceirantes (figura 13).

**Figura 13 – Tipo de crescimento do rizoma do bambu**



a) Bambuzal alastrantes localizados no Parque do Alvorecer, Pato Branco - PR



b) Bambuzal entouceirantes localizados no interior de Mangueirinha - PR

**Fonte: Autores, 2021.**

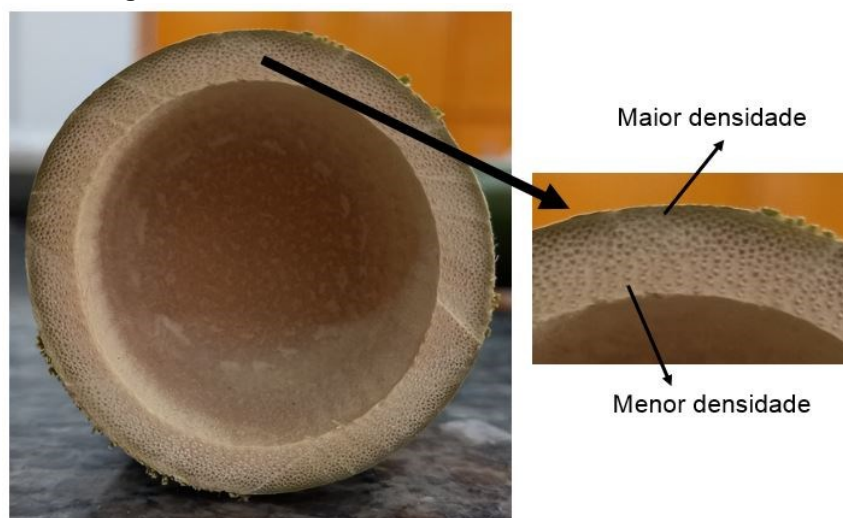
Os bambus alastrantes crescem de forma mais difundida se alastrando e podendo invadir áreas vizinhas, já os entouceirantes formam grandes touceiras, nascem e crescem bem próximos uns aos outros (OLIVEIRA, 2013). Além disso, Cruz (2002) cita que as espécies que tem rizoma do tipo alastrante são mais favoráveis ao clima temperado. Já as espécies de rizoma do tipo entouceirante são mais favoráveis ao clima tropical, (CASTRO, 2010).

A parte externa do colmo é constituída de duas camadas de células epidérmicas que são cobertas por uma camada cutinizada e a outra com cera (PEREIRA, 2012). Já a parte interna é formada por uma camada mais espessa e conforme Pereira (2012) é altamente lignificada, além de possuir células esclerenquimáticas (geralmente células mortas) inibindo qualquer movimento lateral de líquidos. Ainda, Benavides (2012), explica que a maioria das células do colmo do bambu está orientada longitudinalmente, paralelas ao eixo de crescimento. Segundo Cruz (2002), o bambu alcança a sua altura máxima em até 80 dias para os alastrantes, e até 180 dias para os entouceirantes.

A superfície do colmo pode ser lisa, áspera ou estriada de cor com tons verde, castanho, amarelado ou ainda preto dependendo da espécie (FILGUEIRAS e VIANA, 2017).

Conforme Benavidades (2012), metade do tecido do colmo do bambu é formado por células parênquima e o restante se distribui em 10% para os feixes vasculares e 40% para os feixes das fibras. O autor explica que cada parte tem uma função no colmo: o tecido parenquimatoso envolve as fibras e os vasos, mais denso na parede interna e tem função de estocar os nutrientes e água para a planta. Os feixes vasculares são os tecidos condutores e as fibras, Benavidades (2012) explica que são as principais responsáveis pela resistência mecânica do colmo protegendo os feixes vasculares estando mais concentradas no exterior e na parte superior do colmo. A figura 14 mostra a distribuição radial das fibras ao longo do colmo.

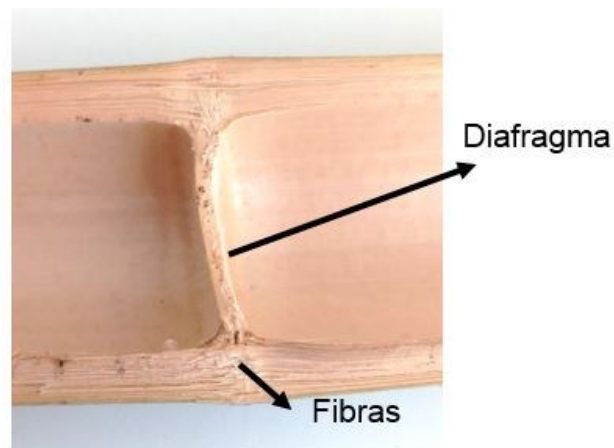
**Figura 14 - Densidade das fibras no colmo do bambu**



**Fonte: Autores, 2021.**

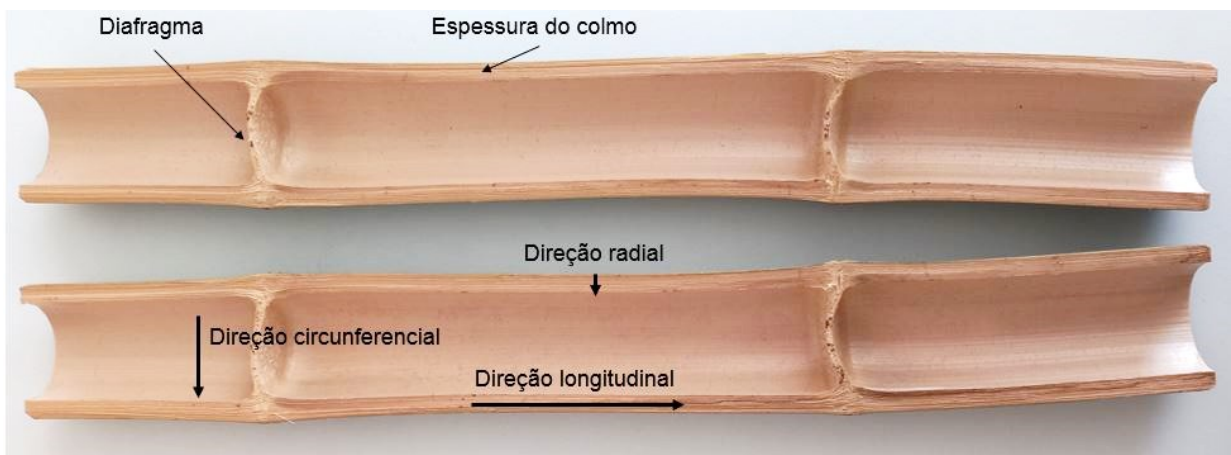


Essa diferença de concentração configura maior resistência aos esforços solicitantes, visto que o bambu está constantemente exposto a solicitação do vento. As fibras vão no sentido longitudinal do colmo e são praticamente paralelas entre si, até chegar no nó, onde sofrem desvios para formar o diafragma (GHAVAMI *et al.*, 2017). Na figura 15 apresenta-se com detalhes as fibras no diafragma do colmo do bambu.



**Figura 15 - Formação do diafragma do colmo de bambu**  
Fonte: Autores, 2021.

Estas fibras quanto mais próximas do topo do bambu tem maior densidade e a quantidade de parênquima diminui (PEREIRA, 2012). As direções das fibras também interferem na resistência do bambu, conforme Ghavami *et al.* (2017) o colmo possui três diferentes direções das fibras, a radial, circunferencial e a longitudinal (figura 16).



**Figura 16 - Direções das fibras do colmo do bambu**  
Fonte: Autores, 2021.



Conforme a figura 15, Ghavami *et al.* (2017) explica que a direção radial das fibras do bambu é aquela ao longo da espessura do colmo, já a direção circunferencial é aquela paralela à seção transversal do colmo e a longitudinal é a chamada direção paralela as fibras.

#### 2.4.2 Cultivo, manejo e tratamento do bambu

O bambu não tem muita exigência para o tipo de solo, mas os solos férteis, soltos e bem drenados são os mais adequados para o seu desenvolvimento (PEREIRA, 2012). Além disso, o autor explica que o clima favorável para o bambu é o tropical, porém aqueles do gênero *Phyllostachys* são mais favoráveis à climas frios, suportando temperaturas negativas.

O plantio do bambu deve ser bem planejado visando a necessidade de manter o manejo constante para obter alta produtividade. Além disso, deve-se atentar para a finalidade da matéria prima, pois isto interfere na escolha do modelo de escala de plantio, tipo e forma de adubação, manejo do solo, idade e a proporção e corte dos colmos da espécie destinada (ARAÚJO *et al.*, 2021).

Antes da coleta deve-se realizar a seleção das varas de bambu que conforme a norma NBR 16828-2 - Estruturas de bambu - Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu (ABNT, 2020) recomenda-se a extração somente de colmos maduros (3 a 7 anos de idade), pois os colmos jovens possuem pouca durabilidade e baixa resistência.

Para a coleta dos colmos de bambu deve-se descartar a primeira parte do colmo, aproximadamente 1 metro, pois, segundo a NBR 16828-2 (ABNT, 2020), apresenta características anatômicas diferentes do restante do colmo do bambu. O corte deve ser feito rente ao solo para as espécies alastrantes e para as entouceirantes deve ser cortado rente ao primeiro nó para evitar a entrada de água e apodrecimento do colmo (PEREIRA, 2012). Além disso, deve-se cuidar a época da colheita do colmo, preferivelmente em estações secas. Pereira (2012) explica que em épocas secas os colmos têm menor quantidade de água e seiva circulando tornando-os menos atrativo ao ataque de insetos.

Após a coleta, o bambu deve passar por um processo de secagem dependendo do tipo de tratamento escolhido. Conforme a norma equatoriana NEC-SE-Guadua - Norma Equatoriana de *la Construcion: Estructuras de Guadúa* (MIDUV,

2016) a secagem pode ser de duas formas: natural ou artificial, conforme detalhado no quadro 1.

**Quadro 1 - Tipos de secagem do colmo de bambu**

Secagem natural	Secagem artificial	
1°) Colmos devem estar apoiados e intercalados de forma vertical	1°) Secagem natural durante 8 dias	
	2°) Escolha do tipo de secagem artificial	
2°) A extremidade inferior não deve estar em contato direto com o solo	Forno de secagem	3°) Colmos posicionados de forma horizontal
3°) Altura do cavalete deve ser de 2/3 da altura do colmo armazenado	Secagem com injeção de ar quente	3°) Colmos de forma horizontal em área coberta
4°) Caso a secagem seja ao ar livre os cavaletes devem estar orientados na direção oeste para evitar a exposição solar		4°) No interior do colmo conectar mangueiras de plásticos que injeta ar quente
5°) Para uma secagem uniforme, girar os colmos nos primeiros 15 dias e posteriormente diminuir este intervalo	Secagem solar	3°) Fluxo de entrada e saída de ar realizado por comportas
6°) Tempo de secagem de dois a seis meses		Ativo

**Fonte: Autores, 2021.**

Ressalta-se que durante o processo de secagem artificial, deve-se garantir a integridade dos colmos prevenindo rachaduras excessivas ou esmagamentos, visto que, quando o bambu é colocado na estufa há uma mudança de temperatura abrupta. Para isto, a norma equatoriana *Estructuras de Guadúa* (MIDUV, 2016) recomenda realizar um processo de secagem natural durante 8 dias.

O bambu por ser um material orgânico que contém lignina e celulose em sua composição é muito suscetível a ataques por intempéries e devido a isso, Liese (2004) explica que o bambu deve receber tratamentos adequados para a sua conservação. Além disso, para sua eficiência quando utilizado na construção civil, Caeiro (2010) menciona que o bambu deve ser capaz de resistir a fungos e insetos, ressaltando a importância do tratamento. Existem diversos tipos de tratamento do colmo do bambu:

por imersão, com produtos químicos, cura pela fumaça, cura natural e pelo método Boucherie.

#### 2.4.3 Propriedades Físicas

O bambu possui diâmetro variável desde a sua base ao topo, inclusive entre os diferentes colmos da mesma espécie, mesmo pertencendo ao mesmo bambuzal. Conforme Filgueiras e Viana (2017) o diâmetro varia de milímetros até dezenas de centímetros podendo ser de forma cilíndrica ou até levemente achatados. Além do diâmetro do bambu, a altura também é variável, indo de 20 a 35 cm de comprimento dos seus entrenós, na maioria das espécies (FILGUEIRAS e VIANA, 2017).

As características e a resistência dos colmos de bambu são afetadas por algumas propriedades físicas da planta. Dentre elas está a idade, o bambu apresenta um rápido crescimento e, segundo Wakchaure e Kute (2012), atinge os valores máximos de resistência entre 3 e 4 anos de idade, diferentemente da madeira que pode levar 15 anos para atingir a maturidade.

O teor de umidade também é um fator determinante para a análise do bambu, que varia ao longo do colmo e é maior no bambu verde do que no bambu seco. Segundo Cruz (2002) a umidade natural do bambu varia de 13% a 20%, de acordo com a umidade do local. O teor de umidade influencia na durabilidade do bambu, afinal, colmos mais úmidos são mais suscetíveis aos ataques de insetos e fungos, quando não tratados (WAKCHAURE e KUTE, 2012).

Quanto mais próximo do topo menor a quantidade de parênquima, que é responsável por estocar água para o colmo, análogo a isto tem-se que quanto mais próximo do ápice menor a quantidade de água, ou seja, menor o teor de umidade (PEREIRA, 2012; BENAVIDES, 2012). Conforme explica Caeiro (2010), nas estações mais úmidas, a parte basal do colmo do bambu terá mais umidade que a parte superior do colmo.

A densidade do bambu varia de acordo com a umidade do colmo, quanto maior o teor de umidade maior a densidade. Esta propriedade influencia na resistência mecânica, a qual é afetada pela umidade (OLIVEIRA, 2012). Além da umidade, a densidade também é influenciada pela idade, posição do colmo e até mesmo a condição de crescimento do bambu. Quando o colmo ainda é jovem a sua densidade é menor aumentando gradualmente até 6 anos de idade, a partir dos 5 anos a

densidade mantem-se estável e após os 8 anos ela diminui (PEREIRA, 2012). Alguns autores determinaram as propriedades físicas do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*, os valores encontrados estão na tabela 1.

**Tabela 1 – Propriedade física da espécie *Phyllostachys aurea***

<b>Autor</b>	<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Neto (2017)	500
Oliveira (2012)	530

**Fonte: Autores, 2021.**

Oliveira (2012) realizou ensaios para a determinação da densidade aparente do bambu com e sem tratamento térmico para duas espécies diferentes a espécie. O dado apresentado é para o bambu seco em estufa sem tratamento térmico.

O autor Neto (2017) realizou a caracterização da mesma espécie de bambu considerando diferentes partes do colmo do bambu, base, meio e topo, e analisando a densidade aparente do colmo em cada parte, de modo que pode concluir que a parta basal é a mais densa. O valor apresentado na tabela 1 é a densidade do colmo inteiro, incluindo todas as partes do bambu.

#### 2.4.4 Propriedades Mecânicas

O bambu apresenta propriedades mecânicas que o tornam adequado para a aplicação na construção civil. A norma peruana E.100 Bambú (*Ministerio de Vivenda, Construcción y Saneamiento*, 2012) apresenta os valores de tensões admissíveis de compressão paralela e perpendicular às fibras, tração, flexão e cisalhamento. De forma semelhante, a norma equatoriana *Estructuras de Guadúa* (MIDUV, 2016) indica valores admissíveis para as tensões mencionadas. Estes valores de normas são utilizados como parâmetros para o cálculo de estruturas em bambu, indicando as tensões máximas que a estrutura poderá suportar. As tensões admissíveis são ainda multiplicadas por coeficientes que minoram a resistência para garantir a segurança da construção. A tabela 2 apresenta um comparativo entre as respectivas normas.

**Tabela 2 - Tensões admissíveis das normas equatoriana e peruana**

<b>Esforços Admissíveis</b>	<b>E. 100 Bambú (MPa)</b>	<b>NEC-SE-Guadua (MPa)</b>
Flexão	5,00	15,00
Tração Paralela	16,00	19,00
Compressão Paralela	13,00	14,00
Cisalhamento	1,00	1,20
Compressão Perpendicular	1,30	1,40

**Fonte: Autores, 2021.**

Para a norma brasileira NBR 16828-1 (ABNT, 2020), as resistências características dos elementos podem ser obtidas, quando não for possível realizar os ensaios para as demais propriedades mecânicas, a partir da resistência a compressão paralela às fibras, utilizando coeficientes indicados pela norma.

#### 2.4.4.1 Propriedades Mecânicas da espécie *Phyllostachys aurea*

Além dos valores indicados em normas, diversos pesquisadores realizaram testes laboratoriais para encontrar as propriedades mecânicas do bambu. Para a espécie *Phyllostachys aurea*, a tabela 3 apresenta os valores obtidos na bibliografia para compressão ( $\sigma_c$ ), tração ( $\sigma_t$ ), cisalhamento ( $\zeta$ ) e módulo de elasticidade à compressão ( $E_c$ ).

**Tabela 3 – Propriedades mecânicas da espécie *Phyllostachys aurea***

<b>Autor</b>	<b><math>\sigma_c</math> (MPa)</b>	<b><math>\sigma_t</math> (MPa)</b>	<b><math>\zeta</math> (MPa)</b>	<b><math>E_c</math> (GPa)</b>
Vasata (2020)	82,18	215,64	-	4,03
Chamorro (2011)	55,55	228,32	3,78	49,88
Cruz (2002)	79,86	234,80	4,64	25,36

**Fonte: Autores, 2021.**

O estudo de Vasata (2020) compara as propriedades da base e do meio dos colmos, os valores apresentados na tabela 3 são os médios encontrados pela autora, correspondentes à seção intermediária do colmo. A autora não encontrou valores para o cisalhamento.

Chamorro (2011), apresenta resultados para amostras cujas tensões são com e sem a presença de nós. As tensões apresentadas na tabela 3 são sem a presença do nó.

Já Cruz (2002), compara diferentes tipos de tratamento para a parte basal, intermediária e de topo do bambu, os resultados apresentados na tabela 3 correspondem ao bambu seco ao ar na seção intermediária do colmo, estado para o qual a autora encontrou maiores valores de tensão.

Quanto a compressão diametral do colmo, Ghavami, Sharma e Harries (2013) mencionam que esta propriedade geralmente não é incluída nos trabalhos por ser um mecanismo de falha complexo, com resultados de difícil interpretação. Ghavami, Sharma e Harries (2013), realizaram ainda um estudo desta propriedade, obtendo valores de tensão entre 6,5 e 11,5 MPa, comprimindo anéis de bambu com comprimento e diâmetro médio de 28,5 mm e 39,9 mm, respectivamente.

## **2.5 Estruturas de cobertura e suas ligações**

### **2.5.1 Ligações em bambu**

Um dos maiores desafios ao utilizar o bambu como material estrutural é a execução de ligações. No geral, para melhor aproveitamento da planta, os colmos são utilizados em sua forma natural, com medidas não uniformes, exigindo adaptação das ligações às suas características (SOARES, 2013).

Existem diversos tipos de ligações, as mais tradicionais remontam às primeiras construções em bambu e consistem em ligações com amarrações de fibras naturais, couro, arame, nylon ou conexões por pinos (LANA, 2016).

Outro tipo de ligação bastante difundido é a ligação parafusada, Quintero (2015) afirma que é uma estrutura barata, eficiente e que não altera a estrutura do colmo. O arquiteto Simón Velez é conhecido pela criação de ligações parafusadas utilizando barras roscadas com a injeção de argamassa, apresentando um bom desempenho estrutural.

Para promover a conexão entre os colmos de bambu existem cortes que permitem um maior contato entre eles, os mais comuns são os cortes reto, bico de flauta e boca de peixe (QUINTERO, 2015). A figura 17 exemplifica a forma destes tipos de conexões.

**Figura 17 - Cortes mais comuns para ligações em bambu**



a) Corte reto

b) Corte boca de peixe

c) Corte bico de flauta

Fonte: Autores, 2021.

### 2.5.2 Ligações perpendiculares

O Anexo A da NBR 16828-1 (ABNT, 2020), sugere alguns tipos de ligações que podem ser executadas em estruturas de bambu, uma delas é a ligação perpendicular utilizando barra roscada, representada na figura 18.

Figura 18 - Ligação perpendicular com barra roscada



Fonte: Autores, 2021.

A norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020) de estruturas de bambu apresenta ainda algumas recomendações para a execução das amostras:

- Barras roscadas e parafusos com diâmetro mínimo de 10 mm, quando tratado de bambus de diâmetros grandes;
- Perfurações alinhadas ao eixo da ligação e com folga de 1,5 mm com relação ao diâmetro do parafuso;
- Deve-se promover o maior contato possível entre as peças, garantindo que não existam falhas de conexão;

- Os elementos metálicos devem receber tratamento anticorrosivo, quando expostos a condições ambientais desfavoráveis;
- Quando sujeitos a solicitações elevadas, recomenda-se o preenchimento com argamassa.

As ligações contidas na NBR 16828-1 (ABNT, 2020) estão de acordo com a norma equatoriana *Estructuras de Guadúa* (MIDUV, 2016), que também apresenta recomendações importantes quanto à execução das ligações, complementares as da norma brasileira:

- A distância entre o nó e a parte inferior da boca de peixe deve ser entre 40 e 60 mm;
- Na barra com a boca de peixe introduz-se uma barra roscada a 30 ou 40 mm abaixo do nó.

Além disso, a norma equatoriana *Estructuras de Guadúa* (MIDUV, 2016) contém instruções detalhadas quanto à montagem das ligações, permitindo uma execução padronizada das estruturas.

Suarez e Manrique (2003) realizaram testes para ligações perpendiculares e diagonais (45° e 60°), para a espécie *Guadua angustifolia*, modificando os elementos de ligação para encontrar o melhor comportamento. Para as ligações perpendiculares os valores médios de tensão de compressão encontrados ficaram entre 44,87 kgf/cm<sup>2</sup> e 107,67 kgf/cm<sup>3</sup>, sendo o primeiro valor para uma ligação sem argamassa.

### 2.5.3 Ligações diagonais

Outra ligação sugerida pela NBR 16828-1 (ABNT, 2020) e comumente utilizada nas estruturas em bambu é a ligação diagonal simples, indicada na figura 19.

**Figura 19 - Ligação perpendicular com barra roscada**





Fonte: Autores, 2021.

As recomendações da norma brasileira para as ligações diagonais são análogas às das ligações perpendiculares. Já a norma equatoriana *Estructuras de Guadúa* (MIDUV, 2016), apresenta orientações construtivas importantes para as ligações diagonais:

- Nas ligações diagonais as porcas e arruelas não ficam perfeitamente perpendiculares ao colmo, por isso podem ser utilizados prismas de madeira, Neoprene ou metálicos, que permitam melhor encaixe;
- A fim de evitar fissuras, a barra roscada deve transpassar o nó do colmo que possui o corte tipo bico de flauta.
- Para obter maior área de contato entre a porca e a parede do bambu nas extremidades, a barra deve fazer um ângulo de  $45^\circ$  na extremidade que transpassa o nó, conforme mostrado na figura 19.

Para as ligações diagonais em  $45^\circ$  (figura 20) Suarez e Manrique (2003), obtiveram valores de tensão de cisalhamento entre 2,82 e 3,13 MPa e para as amostras em  $60^\circ$ , os valores ficaram entre 2,56 e 3,23 MPa.

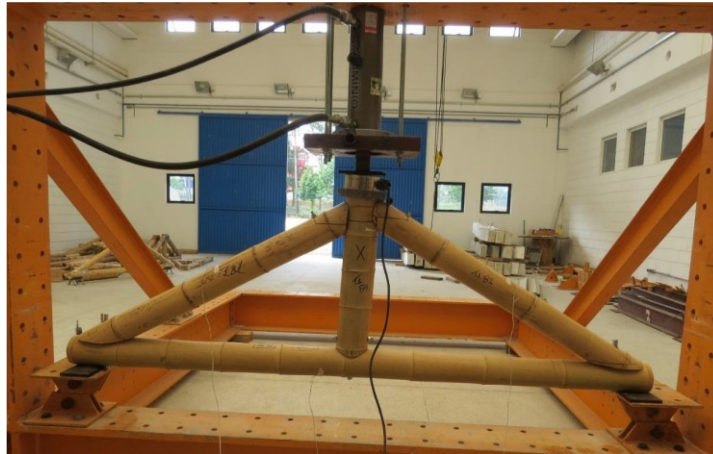


Fonte: Suarez e Manrique, 2003.

No estudo, as peças romperam por cisalhamento, sendo assim, os valores de tensão por compressão não foram calculados pelos autores.

Radaskievicz (2016), realizou um estudo com treliças utilizando as ligações perpendiculares e diagonais (figura 21), baseadas nas ligações de Simon Velez, utilizando barras roscadas e elementos de reforço de ligação.

**Figura 21 – Ensaio com treliça**



**Fonte: Radaskievicz, 2016.**

Na treliça, o colapso ocorreu por cisalhamento junto à ligação diagonal de apoio, conforme figura 22.

**Figura 22 – Ruptura de treliça na ligação diagonal**



**Fonte: Radaskievicz, 2016.**

A tensão média para as barras comprimidas encontrada pelo autor foi de 2,9 MPa e o carregamento último de 8,2 kN, e no banzo tracionado a tensão máxima obtida foi de 38,2 MPa.

#### 2.5.4 Ligações utilizando argamassa

Em ligações estruturais com a utilização de parafusos ou barras roscadas deve-se prestar atenção no contato entre o bambu e o parafuso, para não ocorrer fissuras ou esmagamento. Neste sentido, Moré (2003) recomenda enrijecer o interior do colmo, nos pontos mais vulneráveis das peças, com argamassa ou concreto que, além de auxiliar na resistência da peça, também inibe a entrada de insetos no interior do colmo.

A NBR 16828-1 (ABNT, 2020) recomenda a utilização de argamassa nos entrenós quando sujeitos a uma força de esmagamento, ou até mesmo em outras situações, como, por exemplo, para enrijecer a estrutura. Além disso, a norma sugere algumas recomendações a serem seguidas:

- A argamassa deve possuir traço 1:4, com areia grossa como agregado miúdo.
- A argamassa deve ser fluída o suficiente para preencher completamente a parte interna do colmo e, caso necessário, pode-se utilizar aditivo redutor de água.
- Para a introdução da argamassa deve-se executar um furo com diâmetro máximo de 4 cm no ponto mais próximo ao nó.
- Em ligações de 45° deve ser retirado o diafragma do colmo inclinado para dar maior aderência entre a argamassa e o outro colmo da ligação.

A norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020) menciona que podem ser utilizados outros materiais ao invés de areia na argamassa, desde que a resistência seja compatível. Neste âmbito, uma alternativa é substituir a areia natural pela areia artificial.

A indústria da construção civil vem buscando materiais alternativos decorrentes de subprodutos que possam diminuir custos, agilidade na execução da obra, durabilidade e principalmente a melhoria das propriedades do produto final (BARBOSA *et al.*, 2008 e HEEMANN, 2014). Sabe-se que mais de 30% da areia natural é destinada para a produção de argamassa e, segundo Barbosa *et al.* (2008), a extração da mesma, em grande quantidade, é prejudicial ao meio ambiente. Uma alternativa para diminuir a extração em grande escala da areia natural é a substituição na argamassa pela areia artificial, que é proveniente de sobras de rochas. Alguns

autores estudaram o desempenho da argamassa com a substituição de areia natural pela areia artificial (quadro 2).

**Quadro 2 - Estudos com a substituição da areia natural pela artificial em argamassas**

<b>Autor</b>	<b>Estudo</b>	<b>Resultado</b>
Ishikawa (2003)	Argamassa de assentamento	Desempenho das areias são praticamente os mesmos, diferindo na situação econômica. A argamassa com areia artificial apresentou um custo de 6,75% menor que aquela utilizando a areia de rio.
Santos (2017)	Argamassa de assentamento	A argamassa com areia artificial apresentou uma resistência a compressão de 3,53 MPa, enquanto que com areia natural foi de 2,12 MPa.
Heeamn (2014)	Argamassa de revestimento	A argamassa com areia artificial apresentou um aumento de 56,40% na resistência a compressão em relação a argamassa com areia natural.

**Fonte: Autores, 2021.**

Nota-se que, em todos os estudos citados acima, a argamassa com areia artificial, além de ser mais viável ambientalmente, também agrega tecnicamente, aumentando a resistência a compressão da argamassa. Neste sentido, utilizar a argamassa com areia artificial pode trazer bons resultados para as ligações em estudo.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Abordagem da pesquisa

Esta pesquisa tem objetivos de caráter exploratório e uma abordagem experimental do tipo quantitativa, visto que se baseou em avaliar os resultados obtidos nos testes de resistência à compressão axial de ligações em bambu, bem como análises teóricas do comportamento estrutural do material. Além disso, o trabalho pretende contribuir com novos conhecimentos sobre o bambu, proporcionando novas informações para aprimorar o conhecimento científico do tema.

Para o desenvolvimento do trabalho, elaborou-se a metodologia apresentada neste capítulo, que pode ser sintetizada no fluxograma apresentado na figura 23.

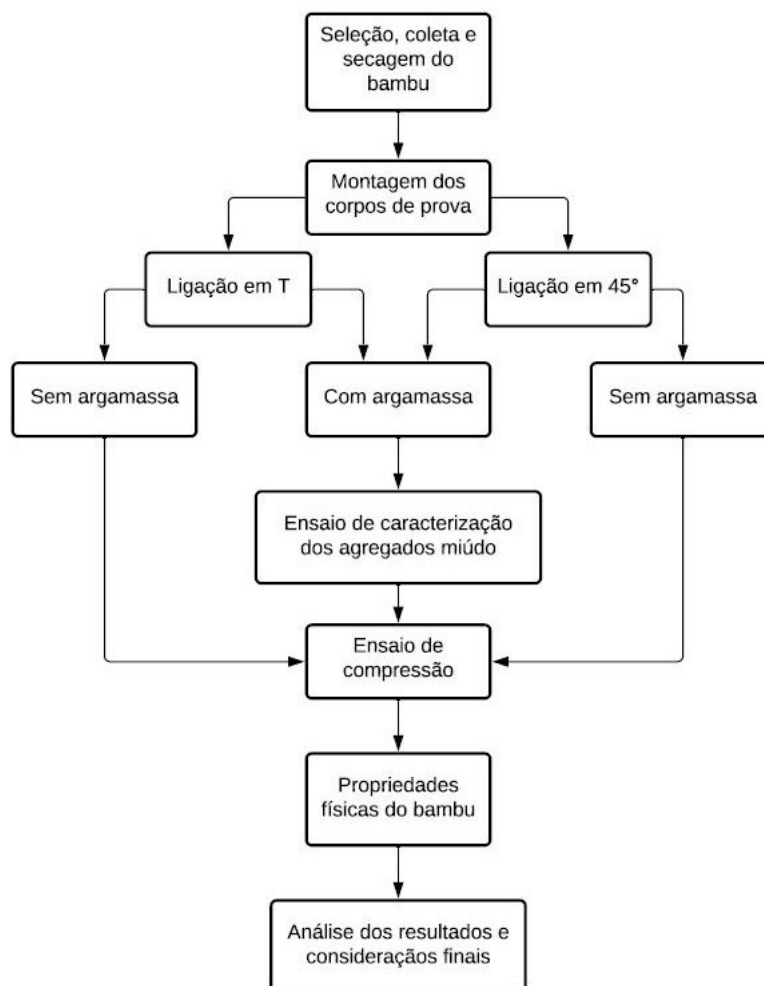


Figura 23 - Fluxograma da metodologia de trabalho  
Fonte: Autores, 2021.

### 3.2 Seleção, coleta e secagem do bambu

Para o estudo foi utilizado o bambu da espécie *Phyllostachys aurea*. Os colmos foram disponibilizados pela Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Pato Branco/PR, selecionados e coletados em duas etapas: no dia 24 de abril e 23 de julho de 2021 no Parque do Alvorecer do município de Pato Branco (figura 24).

Para os ensaios utilizou-se a parte basal e intermediária do bambu, descartando-se um terço da parte superior do comprimento da vara.

**Figura 24 – Bambuzal Parque do Alvorecer**



**Fonte: Autores, 2021.**

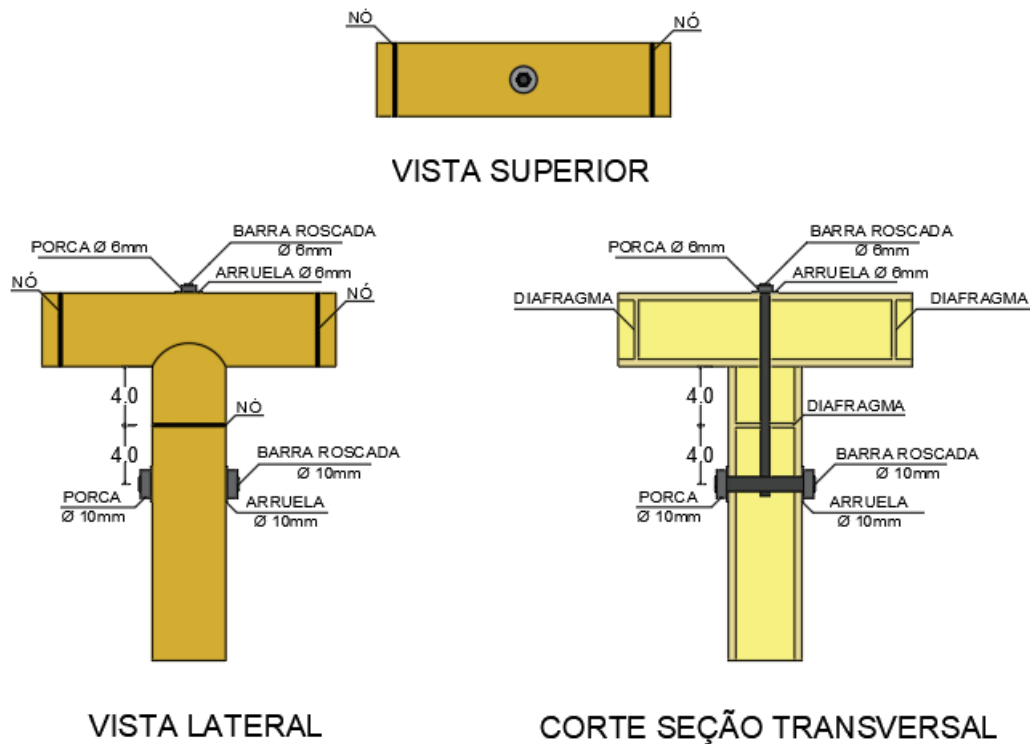
Para a coleta das varas utilizou-se um facão e um serrote, além de seguir criteriosamente as recomendações da norma NBR 16828-2 (ABNT, 2020). Com isto, foram selecionados colmos maduros e livres de defeitos, descartando a primeira parte do colmo (até 1 metro) por apresentar características anatômicas diferentes do restante do colmo.

Para a secagem dos colmos de bambu utilizou-se o método de secagem natural, onde os colmos foram posicionados verticalmente, mantendo a condição original da planta, permitindo a secagem adequada dos mesmos, durante 7 dias. Após esses 7 dias, os colmos foram armazenados de forma horizontal e ali ficaram durante três meses, no processo de secagem natural conforme recomenda a NBR 16828-1 (ABNT, 2020).

### 3.3 Projeto das ligações

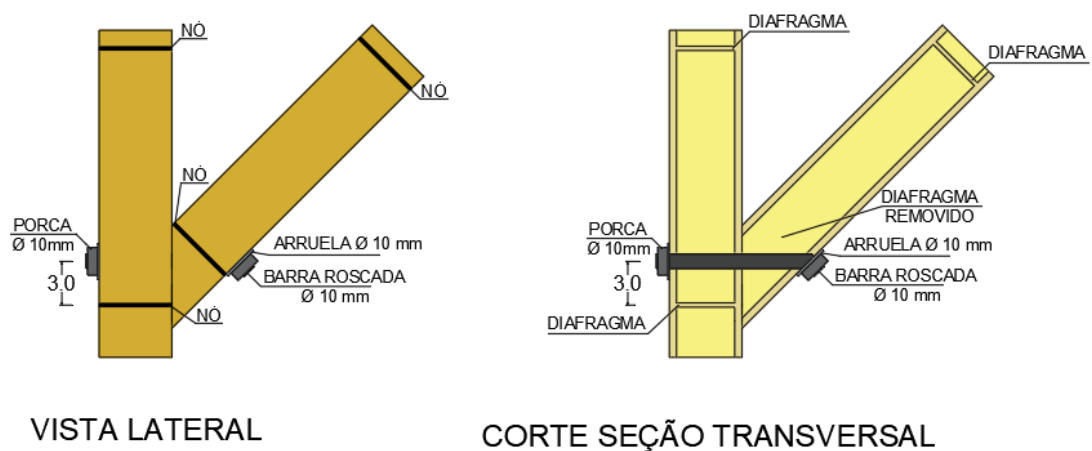
Durante o tempo de espera para secagem dos colmos de bambu realizou-se o projeto das ligações perpendicular (figura 25) e diagonal (figura 26) através do software AutoCAD 2021 versão estudante.

Figura 25 - Projeto da ligação perpendicular (T)



Fonte: Autores, 2021.

Figura 26 - Projeto da ligação perpendicular (45°)



Fonte: Autores, 2021.

Nesta etapa definiram-se as posições das barras roscadas utilizadas na montagem das amostras, bem como o diâmetro das mesmas.

Para a ligação T foi utilizada a barra roscada de aço galvanizado de 6 mm no colmo superior do bambu e de 10 mm no inferior. A norma brasileira, preconiza barras roscadas de no mínimo 10 mm, porém, por tratar-se de um bambu de pequeno diâmetro adotou-se a barra de 6 mm.

Para a disposição da barra roscada na ligação seguiu-se as recomendações da norma equatoriana *Estructuras de Guadúa* (MIDUV, 2016). Neste caso considerou-se que a barra de 10 mm ficará a 4 cm do nó e o mesmo ficará a 4 cm da base do colmo superior, respeitando os limites estabelecidos pela norma equatoriana.

Para a ligação de 45° foi utilizada barra roscada de aço galvanizado de 10 mm e para evitar fissuras no colmo, a barra roscada transpassou o nó do colmo que possui o corte tipo bico de flauta, conforme recomenda a norma equatoriana *Estructuras de Guadúa* (MIDUV, 2016). Para a ligação de 45°, a norma equatoriana não dispõe de distâncias mínimas ou máximas, mas para padronização das amostras adotou-se que a barra roscada estaria a uma distância de 3 cm do nó do colmo reto.

### **3.4 Montagem dos corpos de prova**

Para o estudo das ligações em bambu, foram confeccionados 78 corpos de prova, sendo 39 de ligações perpendiculares (T) e 39 diagonais (45°), utilizando-se as recomendações da NBR 16828-1 (ABNT, 2020) e também as especificações da norma equatoriana *Estructuras de Guadúa* (MIDUV, 2016). Para os ensaios utilizou-se a parte basal e a intermediária do bambu, o equivalente a 2/3 do comprimento da vara.

Com os colmos de bambu secos, realizaram-se as marcações das referidas medidas, de acordo com o projeto das ligações e posteriormente procedeu-se o corte das amostras com o auxílio da serra refiladora (figura 27 - a). Para a colocação das barras roscadas, furou-se o bambu com uma furadeira de bancada (figura 27 - b). Após o corte e a perfuração realizou-se a montagem das amostras para cada tipo de ligação.



**Figura 27 – Equipamentos de corte e perfuração**



a) Serra refiladora



b) Furadeira de bancada

**Fonte: Autores, 2021.**

#### 3.4.1 Ligação perpendicular

A ligação perpendicular é composta de duas partes: um colmo superior horizontal e um inferior na vertical, unidos através de barras roscadas na forma de um T. Para a inserção das barras roscadas, executaram-se perfurações de modo a receber barras de 6 mm no colmo superior do bambu e de 10 mm no inferior, este distanciado em 40 mm do nó (figura 28).

**Figura 28 – Execução dos furos para receber as barras roscadas**



**Fonte: Autores, 2021.**

Para posicionar o encaixe das peças, realizou-se um corte conhecido como boca de peixe (figura 17 – b) no local de contato dos dois colmos. Este corte foi executado com o auxílio do equipamento serra copo (figura 29).

**Figura 29 - Execução da boca de peixe no colmo inferior da ligação T**



**Fonte: Autores, 2021.**

O gancho foi executado na barra roscada de 6 mm, um a um, através da dobragem da mesma com o auxílio de um suporte metálico e uma haste oca que suportasse a dobra da barra. A figura 30 ilustra como foi executado o gancho. Repetiu-se o mesmo procedimento para as demais amostras.

**Figura 30 – Execução do gancho na barra roscada de 6 mm.**



a) Execução do gancho



b) Gancho finalizado

**Fonte: Autores, 2021.**

### 3.4.2 Ligação Diagonal

De maneira análoga à ligação perpendicular, a ligação diagonal foi executada com duas partes: um colmo horizontal e um diagonal, unidos através de barra roscada. Inicialmente executou-se o corte do tipo bico de flauta em um dos colmos, no local de contato com o outro colmo, utilizando-se o equipamento serra copo (figura 31).

**Figura 31 – Execução da boca de flauta no colmo diagonal da ligação 45°**



a) Execução da boca de flauta



b) Boca de Flauta finalizada

**Fonte: Autores, 2021.**

Para a inserção da barra roscada, executaram-se perfurações de dois modos diferentes para receber uma barra de 10 mm atravessando os dois colmos. No colmo reto utilizou-se a furadeira de bancada, da mesma forma que na ligação T. Já o segundo furo foi realizado com a amostra encaixada, para garantir que o furo estaria no lugar correto, para isto utilizou-se uma furadeira manual (figura 32).

**Figura 32 - Execução do furo no colmo inclinado**



**Fonte: Autores, 2021.**

Posteriormente foi executada uma dobra na barra rosca de 10 mm, com o auxílio de uma morsa (figura 33), em um ângulo de 45° permitindo melhor área contato entre a porca e a parede do bambu na extremidade que transpassa o nó. Com o gancho finalizado procedeu-se a montagem final da ligação, executando o mesmo procedimento para todas as amostras.

**Figura 33 - Execução de dobra para ligação 45°**



**Fonte: Autores, 2021.**

### 3.4.3 Ligações com argamassa

A NBR 16828-1 (ABNT, 2020) sugere para peças sujeitas ao esforço de compressão perpendicular às fibras o preenchimento dos entrenós com argamassa. Tendo isso em vista, foram realizadas duas variações de ensaios com argamassa, uma com areia natural e outra com areia artificial.

Para este trabalho adotou-se a proporção máxima de 1:4 com utilização de cimento CP-II F 32 com areia média natural e artificial e relação a/c 0,7. Além disso, nas amostras com argamassa de areia natural foi necessário utilizar aditivo redutor de água na quantidade de 5 ml para melhorar a trabalhabilidade.

Foram realizados os ensaios de caracterização dos agregados utilizados na argamassa para determinar a dimensão máxima, finura, massa unitária, índice de vazios, massa específica aparente e absorção de água conforme a NBR NM 240/2003 – Agregados: determinação da composição granulométrica, NM 45/2006 – Agregados: determinação da massa unitária e do volume de vazios, NM 52/2002 – Agregado miúdo: determinação de massa específica e massa específica aparente e NBR



16916/2021 – Agregado miúdo: determinação da densidade e da absorção de água, respectivamente. As características determinadas dos agregados utilizados estão apresentadas na tabela 4.

**Tabela 4 - Caracterização dos agregados miúdos**

<b>Características</b>	<b>Areia Natural</b>	<b>Areia Artificial</b>
D <sub>máx</sub> (mm)	1,18	4,75
Finura	1,57	3,84
Massa unitária (g/cm <sup>3</sup> )	1,46	1,50
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,37	2,67
Índice de vazios	38,07	43,83
Densidade do agregado (g/cm <sup>3</sup> )	1,45	1,90
Absorção de água (%)	21,60	11,38

**Fonte: Autores, 2021.**

Além disso, na ligação de 45° para o preenchimento de argamassa foi retirado todo o diafragma do colmo de bambu inclinado fornecendo maior rigidez na ligação. A figura 34 mostra como ficou o colmo após a retirada do diafragma.

**Figura 34 -Retirada do diafragma do colmo de bambu**



**Fonte: Autores, 2021.**

Na ligação de 45° procedeu-se a colocação de argamassa nos dois colmos, conforme recomenda NBR 16828-1 (ABNT, 2020). Já para a ligação T adicionou-se argamassa apenas no colmo superior, levando em conta a possibilidade de o colmo sofrer amassamento com aplicação de carga pontual. Esta consideração foi realizada ao observar o comportamento das amostras em T no ensaio sem argamassa, no qual o rompimento ocorreu somente no colmo superior.

Antes da inserção de argamassa nas ligações, todos os colmos foram perfurados em um diâmetro de 1,2 cm com o auxílio da furadeira de bancada (figura 35).

**Figura 35 - Execução do furo para injeção de argamassa nos colmos**



a) Execução do furo na ligação 45°



b) Execução do furo na ligação T

**Fonte: Autores, 2021.**

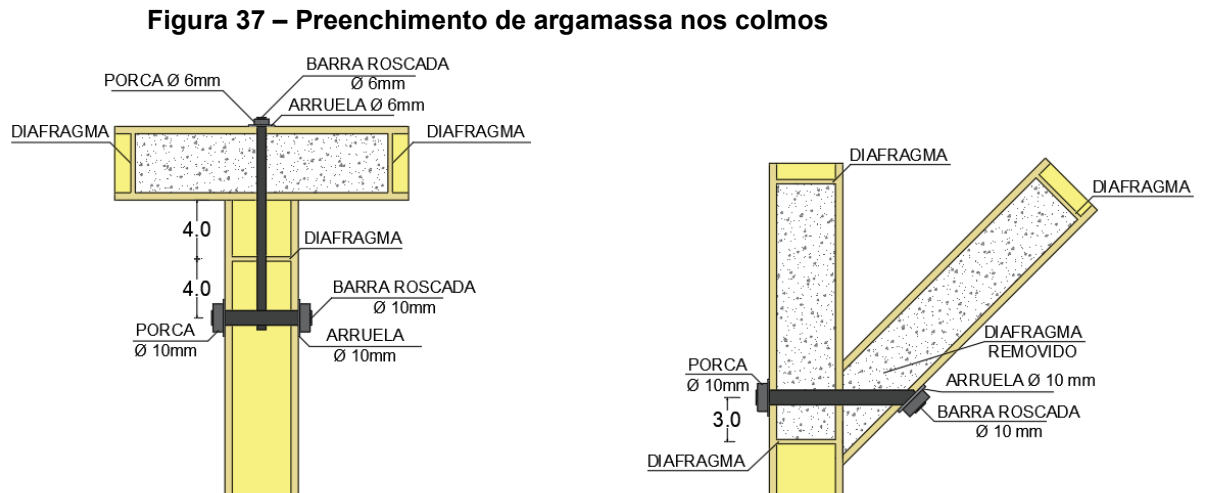
Na sequência, foram preenchidos com argamassa com o auxílio de uma haste metálica e um funil (figura 36).

**Figura 36 - Preenchimento de argamassa nas ligações**



**Fonte: Autores, 2021.**

Após o preenchimento, os furos foram fechados com um tampo de bambu. As amostras ficaram durante 7 dias em cura seca da argamassa. A figura 37 representa como ficou preenchido de argamassa os colmos de cada ligação em bambu.



Fonte: Autores, 2021.

### 3.5 Determinação da resistência à compressão das ligações

Para a determinação da tensão resistente, as ligações foram ensaiadas na máquina universal INSTRON/EMIC, modelo 23300, monitorada pelo programa Tesc, com o carregamento aplicado continuamente, de forma que a placa móvel da máquina de ensaio tivesse uma velocidade constante de, aproximadamente, 0,01 mm/s, através da qual obtiveram-se os carregamentos das ligações. Foram ensaiados 13 corpos de prova para cada variação de ligação.

#### 3.5.1 Ligações perpendiculares

Nas ligações perpendiculares o ensaio de compressão foi realizado com auxílio de uma peça em Neoprene para permitir a aplicação uniforme do esforço na peça, conforme é mostrado na figura 38.

**Figura 38 – Ensaio de resistência a compressão ligação T**



**Fonte: Autores, 2021.**

De posse dos valores de carregamento máximo, procedeu-se o cálculo da tensão, utilizando duas formulações, uma para o colmo superior e outra para o colmo inferior. A ruptura dos colmos ocorreu de duas formas diferentes: no colmo superior por compressão diametral e no inferior por compressão paralela as fibras. Fato este, determinante para a utilização de duas formulações diferentes conforme observado em cada parte do colmo.

A equação 1, determinada pela norma NBR 16828-2 (ABNT, 2020), indica o cálculo da tensão de compressão paralela às fibras para o colmo inferior.

$$f_{c0} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \quad (1)$$

Em que:

$f_{c0}$  é a resistência à compressão paralela às fibras, (MPa);

$F_{m\acute{a}x}$  é a carga máxima de ensaio, (N);

A é a área da seção transversal do corpo de prova, (mm<sup>2</sup>).

A área da seção transversal é obtida pela equação 2:

$$A = \frac{\pi}{4} (D_m^2 - d_m^2) \quad (2)$$

Em que:



$D_m$  é a média dos diâmetros externos obtidos, (mm);

$d_m$  é a média dos diâmetros internos obtidos, (mm).

Para a determinação do diâmetro do colmo utilizou-se a recomendação da norma NBR 16828-2 (ABNT, 2020), retirando as medidas em quatro pontos diferentes da seção do bambu, tanto do diâmetro interno quanto para o externo (figura 39). A medição foi realizada com o auxílio de um paquímetro digital de precisão de 0,01 mm.

**Figura 39 - Medição do diâmetro interno e externo do colmo do bambu**



Fonte: Autores, 2021.

Para o colmo superior o cálculo da tensão resistente realizou-se através da equação 3, adaptada da NBR 7222 - Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos (ABNT, 2011).

$$f_{t0} = \frac{2 F_{m\acute{a}x}}{\pi D_m l_m} \quad (3)$$

Em que:

$f_{t0}$  é a resistência à tração por compressão diametral, (MPa);

$l_m$  é o comprimento entre os nós do colmo superior, (mm);

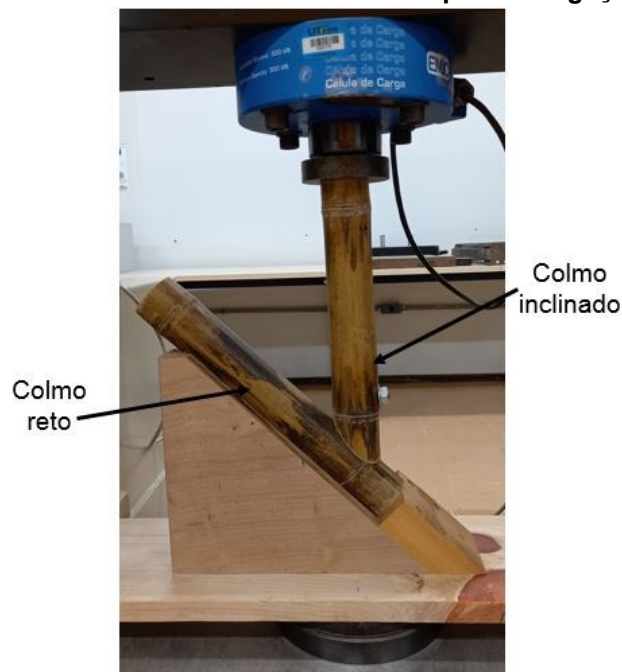
$F_{m\acute{a}x}$  é a carga máxima de ensaio, (N);

$D_m$  é a média dos diâmetros externos obtidos, (mm).

### 3.5.2 Ligações diagonais

Para o ensaio das ligações diagonais, foi necessário montar um aparato de madeira de forma a posicionar a amostra para aplicar a força paralelamente à ligação, possibilitando analisar corretamente o comportamento da peça. Para isso foi necessário montar um aparato de modo a permitir a rotação da peça em 45° para a esquerda. A figura 40 mostra como ficou o posicionamento da ligação, com auxílio do aparato.

Figura 40 – Ensaio de resistência a compressão ligação 45°



Fonte: Autores, 2021.

A tensão à compressão do colmo inclinado (figura 40) foi calculada de acordo com as equações 1 e 2. Já para o colmo reto (figura 40) o cálculo de resistência à compressão foi realizado de acordo com a equação 4.

$$f_{t0} = \frac{2 F_{\text{máx}} \sen(45^\circ)}{\pi D_m l_m} \quad (4)$$

Em que:

$f_{t0}$  é a resistência à tração por compressão diametral, (MPa);

$l_m$  é o comprimento entre os nós do colmo superior, (mm);

$F_{\text{máx}}$  é a carga máxima de ensaio, (N);

$D_m$  é a média dos diâmetros externos obtidos, (mm).

Além disso, no colmo reto existe uma componente de força cisalhante às fibras, dessa forma realizou-se também o cálculo de cisalhamento para o colmo. Para isso, utilizou-se a equação 5, que é uma adaptação da equação determinada pela NBR 16828-2 (ABNT, 2020).

$$f_{v0} = \frac{F_{m\acute{a}x} \cos(45^\circ)}{t_m l_m} \quad (5)$$

Em que:

$f_{v0}$  é a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, (MPa);

$F_{m\acute{a}x}$  é a carga máxima de ensaio, (N);

$t_m$  é a espessura do colmo, (mm);

$l_m$  é o comprimento entre nós do colmo inclinado, (mm).

### 3.6 Teor de umidade

Logo após o rompimento das amostras procedeu-se a determinação do teor de umidade das amostras. Com o auxílio de uma balança de precisão de 0,01 g determinou-se a massa de cada amostra, denominada massa úmida, e na sequência levou-as para a estufa a uma temperatura de 105°C, conforme recomenda a NBR 16828-2 (ABNT, 2020). Após 24h, retiraram-se as amostras da estufa colocando-as no dessecador para impedir que o bambu ganhe umidade até que as mesmas cheguem à temperatura ambiente (figura 41). Imediatamente ao atingir a temperatura ambiente determinou-se a massa de cada amostra. Repetiu-se este procedimento a cada 2h até obter a constância de massa, valor correspondente à massa seca.

**Figura 41 - Amostras no dessecador**



**Fonte: Autores, 2021.**

O cálculo para o teor de umidade foi realizado de acordo com a equação 6.

$$U(\%) = \left( \frac{m - m_0}{m_0} \right) \times 100 \quad (6)$$

Em que:

U é o teor de umidade, (%);

m é a massa úmida da amostra, (g);

m<sub>0</sub> é a massa seca da amostra, (g).

### 3.7 Módulo de elasticidade à compressão paralela as fibras

O módulo de elasticidade para as amostras foi calculado de acordo com a equação 7, determinada pela NBR 16828-2 (ABNT, 2020). Este é calculado pelas médias dos valores de deformação e carregamento entre 20% e 60% da resistência à compressão paralela às fibras.

$$E_{c0} = \frac{(F_{60} - F_{20})}{A (\varepsilon_{60} - \varepsilon_{20})} \quad (7)$$

Em que:

E<sub>c0</sub> é o módulo de elasticidade à compressão paralela às fibras, (GPa);

F<sub>60</sub> é a força correspondente a 60% da carga de ruptura no ensaio, (N);

F<sub>20</sub> é a força correspondente a 20% da carga de ruptura no ensaio, (N);

A é a área da seção transversal do corpo de prova, (mm<sup>2</sup>), obtida por meio da equação 2;

ε<sub>60</sub> é a deformação específica correspondente à força F<sub>60</sub>, (‰);

ε<sub>20</sub> é a deformação específica correspondente à força F<sub>20</sub>, (‰).

As deformações ε<sub>20</sub> e ε<sub>60</sub>, são calculadas pela equação 8.

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta l}{L_0} \quad (8)$$

Δl é o deslocamento correspondente à força F<sub>20</sub> e F<sub>60</sub>, (mm);

L<sub>0</sub> é o tamanho inicial da amostra, (mm).

### 3.8 Densidade

A densidade do bambu foi determinada conforme as diretrizes da NBR 16828-2 (ABNT, 2020). Desta forma, inicialmente com o auxílio da serra refiladora cortou-se pedaços de bambu aproximadamente iguais (figura 41). Para este ensaio utilizaram-se 17 amostras de bambu seco com o método de secagem natural.

**Figura 42 - Colmos de bambu para determinação da densidade**



**Fonte: Autores, 2021.**

Na sequência, determinou-se para cada amostra o comprimento, diâmetro interno e externo. Para a determinação do diâmetro seguiu-se o mesmo procedimento da figura 39. Após a obtenção das dimensões, com o auxílio de uma balança de precisão 0,01 g determinou-se a massa de cada amostra. O cálculo da massa volumétrica do bambu foi realizado de acordo com a equação 9, retirada da NBR 16828-2 (ABNT, 2020).

$$\rho = \frac{m}{V} \times 10^6 \quad (9)$$

Em que:

$\rho$  é a massa volumétrica, (kg/m<sup>3</sup>);

$m$  é a massa da amostra, (g);

$V$  é o volume da amostra, (mm<sup>3</sup>).

O cálculo do volume foi determinado considerando-se o volume de um cilindro oco, obtido por meio da equação 10.

$$V = \frac{\pi (D_m^2 - d_m^2) L}{4} \quad (10)$$

Em que:

$V$  é o volume da amostra, ( $\text{mm}^3$ );

$\pi$  é uma constante matemática, dada por 3, 14159...

$D_m$  é a média dos diâmetros externos obtidos, (mm);

$d_m$  é a média dos diâmetros internos obtidos, (mm);

$L$  é o comprimento do colmo, (mm).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos experimentalmente por meio dos ensaios laboratoriais das ligações em bambu. Para expressar os resultados, adotou-se uma nomenclatura para cada variação de ligação, apresentada no quadro 3.

**Quadro 3 – Nomenclatura adotada**

Nomenclatura	Ligação
T - SA	Ligação T sem argamassa
T - AN	Ligação T com argamassa de areia natural
T - AA	Ligação T com argamassa de areia artificial
45° - SA	Ligação 45° sem argamassa
45° - AN	Ligação 45° com argamassa de areia natural
45° - AA	Ligação 45° com argamassa de areia artificial

**Fonte: Autores, 2021.**

### 4.1 Características físicas das amostras

Para todas as variações dos ensaios com ligações realizaram-se medições de teor de umidade e de dimensões. A tabela 5 apresenta o teor de umidade médio para cada tipo de ligação.

**Tabela 5 - Teor de Umidade**

Ligação	Teor de umidade médio (%)
T - SA	13,41
T - AN	12,16
T - AA	16,24
45° - SA	24,96
45° - AN	25,20
45° - AA	28,02

**Fonte: Autores, 2021.**

A NBR 16828-1 (ABNT, 2020) apresenta como valores de referência para a umidade do bambu valores entre 10% e 20%, sendo que este intervalo depende da região. Sendo assim, os valores encontrados para o teor de umidade das amostras encontram-se dentro do intervalo determinado em norma, com exceção das amostras diagonais, em que o teor de umidade elevado se deve, possivelmente, ao grande volume de chuva na semana em que as amostras foram ensaiadas.

A tabela 6 apresenta os valores médios de diâmetro externo (D), espessura (t), área (A), comprimento entrenós (I) e comprimento total (L) dos colmos utilizados para as ligações em T. O colmo superior é apresentado como CS e o inferior como CI. A tabela 16 do Apêndice A apresenta estes valores por amostra.

**Tabela 6 – Dimensões das Ligações T**

Ligação	CS					CI		
	D (mm)	t (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	I (mm)	L (mm)	D (mm)	t (mm)	A (mm <sup>2</sup> )
TSA	51,82	13,06	15160,22	186,24	223,93	49,11	11,37	776,65
TAN	50,7	11,68	15314,69	191,11	234,13	49,67	10,58	737,62
TAA	49,55	12,76	14385,19	184,62	224,46	47,24	10,66	701,29

**Fonte: Autores, 2021.**

Para as amostras em 45°, a tabela 7 apresenta os valores médios do diâmetro externo (D), espessura (t), distância entrenós do colmo reto (r) e do colmo inclinado (i). O colmo inclinado é representado por CIN e o colmo reto como CR. A tabela 17 do Apêndice A apresenta estes valores por amostra.

**Tabela 7 – Dimensões das Ligações 45°**

Ligação	CR				CIN			
	D (mm)	t (mm)	r (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	t (mm)	i (mm)	A (mm <sup>2</sup> )
45SA	48,69	10,75	203,5	15569,22	43,54	10,49	209,71	628,03
45AN	47,62	10,65	286,23	21803,63	46,43	10,79	216,6	696,42
45AA	49,11	10,94	205,01	15804,18	48,73	11,37	190,92	770,53

**Fonte: Autores, 2021.**

Para o bambu da espécie *Phyllostachys aurea* na condição seco pelo método de secagem natural, obteve-se a densidade aparente média de 851,19 kg/m<sup>3</sup>. O valor obtido é maior do que os valores encontrados na literatura, isso justifica-se pelo período no qual foram realizados os ensaios, em que a umidade do ar estava alta,



aumentando, assim, a densidade da amostra. Além disso, as amostras ensaiadas por Neto (2017) e Oliveira (2012) estavam submetidas a condições diferentes. Neto (2017), antes do ensaio mergulhou as amostras em água, já Oliveira (2012) encontrou a densidade do bambu com ele seco em estufa, enquanto no presente trabalho a densidade encontrada foi para o bambu na condição seco ao ar, de forma natural durante 3 meses.

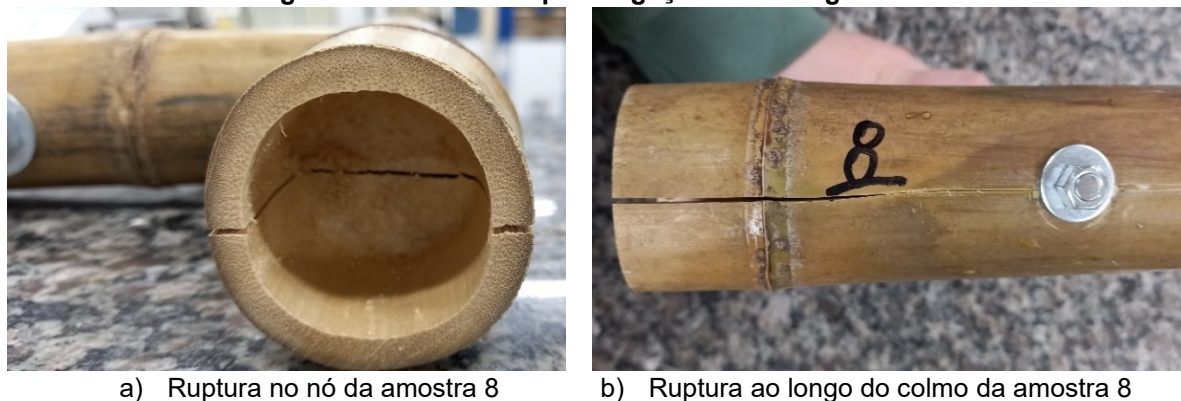
## 4.2 Ensaio com ligações perpendiculares

### 4.2.1 Modos de ruptura

#### 4.2.1.1 Ligações perpendiculares sem argamassa

Após o rompimento das amostras, observou-se o modo de ruptura das mesmas. Na figura 43 apresentam-se a amostra 8 após o ensaio de compressão.

**Figura 43 - Modo de ruptura ligação T sem argamassa**



a) Ruptura no nó da amostra 8

b) Ruptura ao longo do colmo da amostra 8

**Fonte: Autores, 2021.**

A ruptura para as amostras T sem argamassa ocorreu predominantemente por compressão diametral, a fissura ocorreu no sentido longitudinal das fibras, na parte central do colmo superior, coincidindo com a linha do furo no qual encontra-se a barra roscada e estendendo-se pelo nó, como pode observado na figura 43-a.

Em algumas amostras ocorreu, também, o rompimento do colmo inferior, conforme pode ser observado na figura 44.

**Figura 44 – Ruptura no colmo inferior da ligação T sem argamassa**



**Fonte: Autores, 2021.**

Observa-se que a ruptura do colmo inferior ocorreu na linha do furo, da mesma forma que no colmo superior, indicando uma fragilização desta região.

#### 4.2.1.2 Ligações perpendiculares com argamassa de areia natural

A figura 45 apresenta o modo de ruptura das ligações com argamassa de areia natural. Observou-se como comportamento predominante o rompimento paralelo às fibras do colmo inferior, indicando um aumento na resistência do colmo superior.

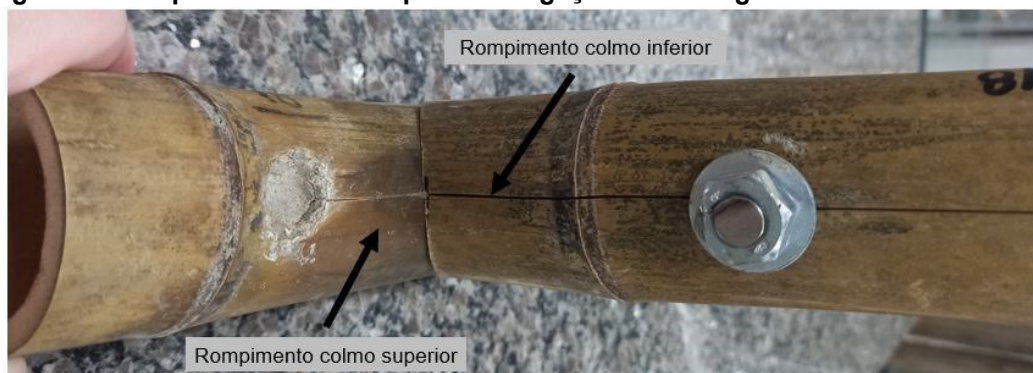
**Figura 45 – Modo de ruptura da ligação T com argamassa de areia artificial**



**Fonte: Autores, 2021.**

Algumas amostras romperam também no colmo superior, seguindo a linha de fissura do inferior. Esse rompimento pode ter sido influenciado pelo orifício necessário para o preenchimento com argamassa, demonstrando uma fragilização da ligação neste ponto. A figura 46 mostra este comportamento.

**Figura 46 – Ruptura no colmo superior da ligação T com argamassa de areia artificial**



**Fonte: Autores, 2021.**

#### 4.2.1.3 Ligações perpendiculares com argamassa de areia artificial

As ligações com argamassa de areia artificial apresentaram ruptura semelhante as das com argamassa de areia natural, no entanto, além da fissura no colmo inferior, as amostras apresentaram esmagamento das fibras do bambu no local de aplicação da carga, na figura 47 apresenta-se este comportamento.

**Figura 47 – Esmagamento das fibras do colmo superior no local de aplicação da carga**



a) Vista lateral – amostra 29

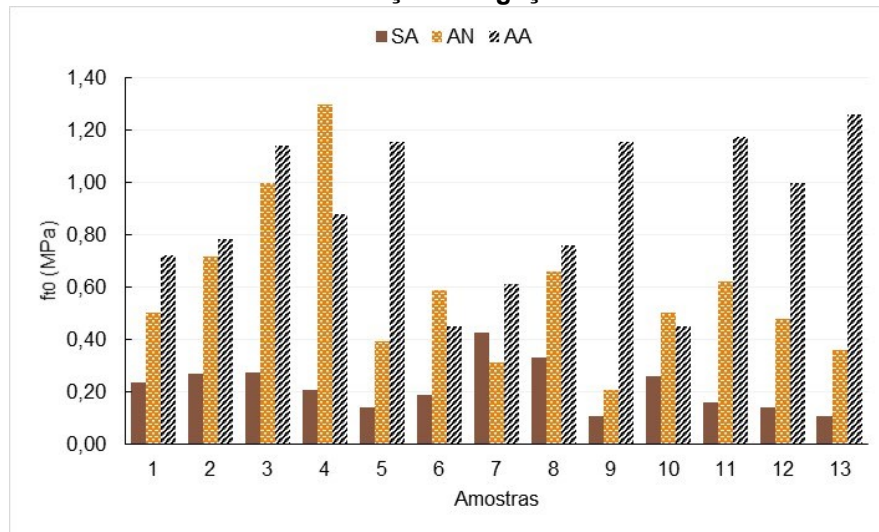
b) Vista superior - amostra 35

**Fonte: Autores, 2021.**

#### 4.2.2 Tensão Resistente

A partir dos ensaios de compressão realizados obtiveram-se as tensões de compressão resistente em cada uma das amostras. A figura 48 apresenta os resultados para o colmo superior nas ligações T, em suas três variações.

**Figura 48 – Tensão de compressão diametral para o colmo superior da ligação T por amostra e variação da ligação**



Fonte: Autores, 2021.

Com os resultados da tensão de cada amostra calculou-se a média e o desvio padrão para cada variação, que são apresentadas na tabela 8.

**Tabela 8 – Resistência à compressão diametral do colmo superior (CS) da ligação T**

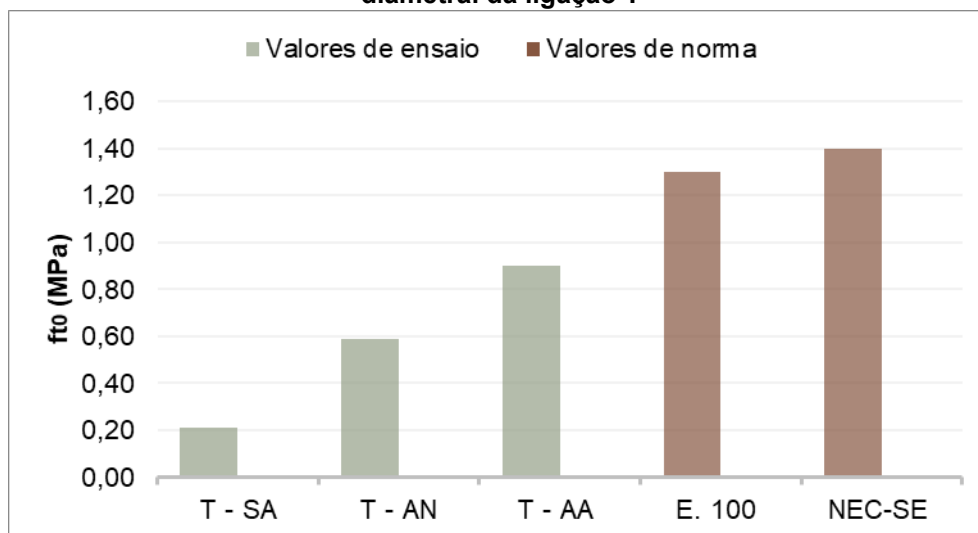
Ligação	$f_{t0}$ (MPa)	s (MPa)
T - SA	0,22	0,09
T - AN	0,59	0,29
T - AA	0,90	0,28

Fonte: Autores, 2021.

Observa-se um aumento significativo de resistência para o colmo superior com adição de argamassa, sendo que as amostras de areia natural (AN) resultaram em um acréscimo de 168,18% na resistência quando comparadas as amostras sem argamassa (SA). Sendo que, nas amostras com areia artificial (AA), o acréscimo foi de 309,09%. Com relação às amostras com argamassa, as AA tiveram um acréscimo de 52,54% na resistência com relação às AN.

Comparando-se os resultados aos valores das normas peruana E.100 Bambú (MIVS, 2012) e equatoriana NEC-SE-Guadua (MIDUV, 2016), as resistências para compressão perpendicular às fibras obtidas são menores do que os esforços admissíveis normatizados. O gráfico da figura 49, apresenta esta comparação.

**Figura 49 – Comparativo dos valores de ensaio e admissíveis de norma para compressão diametral da ligação T**

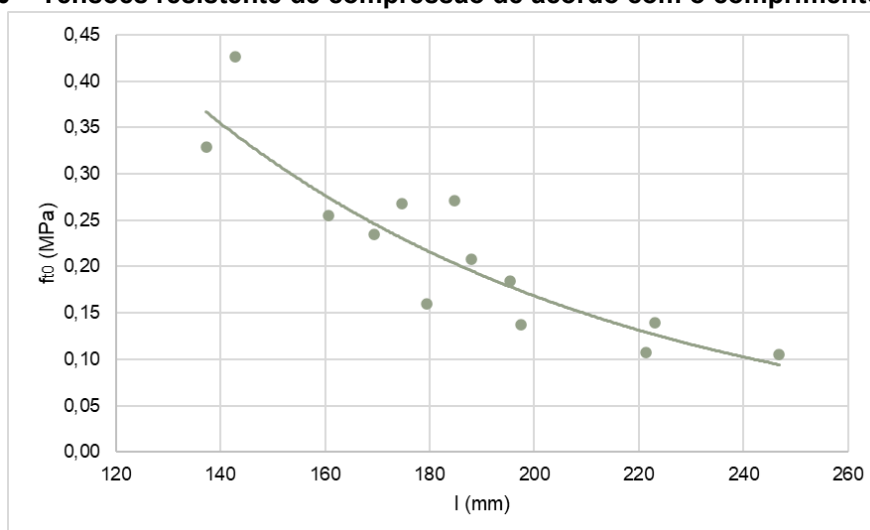


Fonte: Autores, 2021.

O resultado mais favorável para o colmo superior foi encontrado para as ligações com argamassa de areia artificial (AA), e mesmo este foi 31% menor do que a tensão de compressão diametral admissível na norma peruana E.100 Bambú (MIVS, 2012), indicando um comportamento desfavorável do bambu ao sofrer esforços pontuais de compressão diametral. Nesse caso, pode-se considerar um reforço na ligação para evitar a ruptura em valores menores do que os aceitos em norma.

Observou-se ainda a relação entre o comprimento entrenós e a resistência do colmo superior para as ligações sem argamassa. A figura 50 indica este comportamento.

**Figura 50 – Tensões resistente de compressão de acordo com o comprimento entrenós**



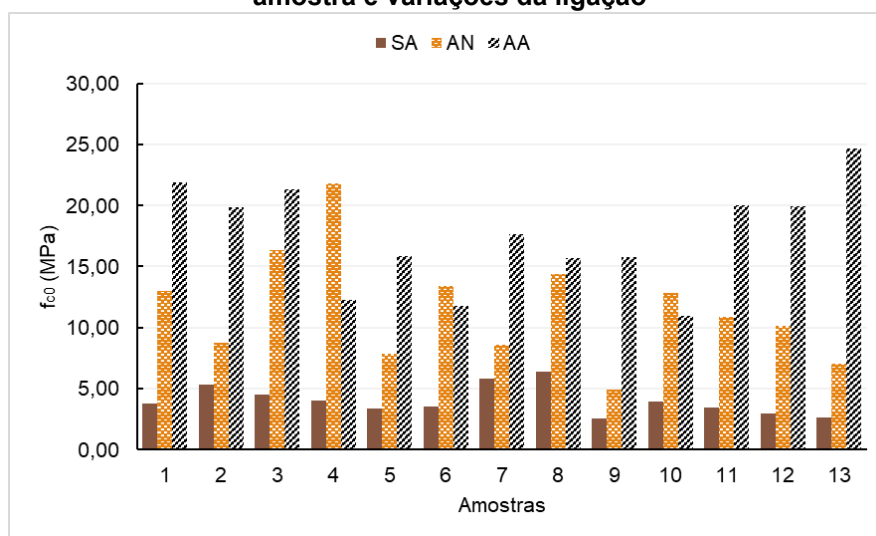
Fonte: Autores, 2021.



Conforme indica a figura 50, o aumento do comprimento entrenós influencia negativamente na resistência do colmo superior, quanto mais distantes estão os nós entre si, menor é a resistência do colmo.

Para o colmo inferior apresentam-se, na figura 51, as tensões de compressão paralela as fibras encontradas nas ligações T, em suas três variações.

**Figura 51 – Tensão de compressão paralela as fibras para o colmo inferior ligação T por amostra e variações da ligação**



Fonte: Autores, 2021

Novamente, há uma melhora significativa na resistência das amostras quando há a injeção de argamassa. A tabela 9 apresenta os resultados médios e o desvio padrão (s) para cada variação.

**Tabela 9 – Resistência à compressão paralela as fibras do colmo inferior (CI) da ligação T**

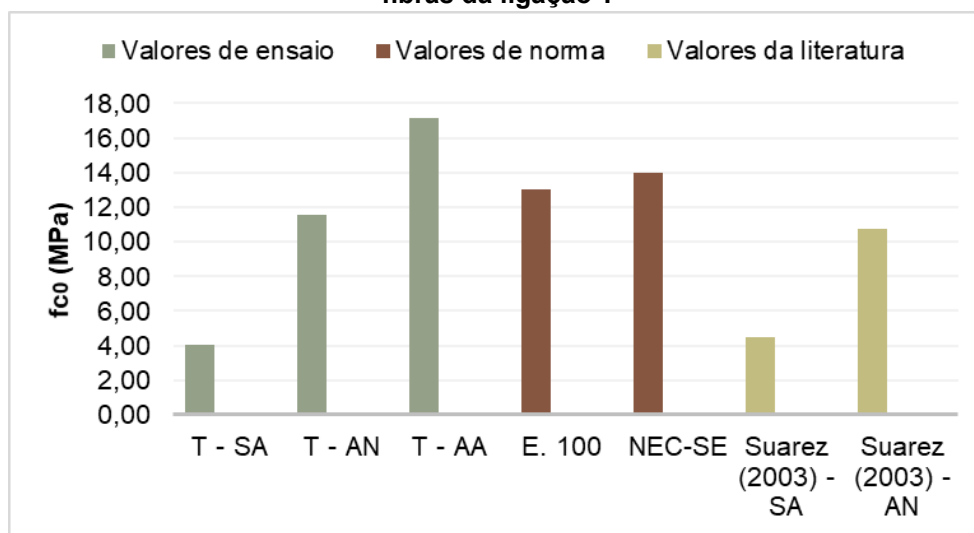
Ligação	$f_{c0}$ (MPa)	s (MPa)
T - SA	4,03	1,19
T - AN	11,53	4,47
T - AA	17,15	4,20

Fonte: Autores, 2021.

Ocorreu, um aumento significativo de resistência para o colmo inferior com adição de argamassa, as amostras de areia natural (AN) resultaram em um acréscimo de 186,10% na resistência quando comparadas as amostras sem argamassa (SA). As amostras com areia artificial (AA), resultaram em 325,56% de aumento com relação às amostras sem argamassa (SA) e 48,74% com relação as de areia natural (AN).

Para o colmo inferior, realizou-se uma comparação (figura 52) com os valores admissíveis das normas equatorianas e peruana para compressão paralela às fibras, bem como com os resultados encontrados por Suarez e Manrique (2003) para este tipo de ligação.

**Figura 52 – Comparativo de valores de ensaio e de referências para compressão paralela as fibras da ligação T**



Fonte: Autores, 2021.

Os dados apresentam uma boa convergência com os de Suarez, estando próximo a 4 MPa para a ligação sem argamassa (SA) e alcançando valores em torno de 11 MPa para ligações com argamassa de areia natural (AN). A variação com areia artificial (AA) apresentou um desempenho melhor, superando, inclusive, os valores de referência estipulados nas normas.

Quando comparados os resultados para as ligações com os ensaios normatizados para compressão do colmo observa-se que na ligação a resistência é consideravelmente menor. Vasata (2020) encontrou valores médios para compressão do colmo de *Phyllostachys aurea* de 82,18 MPa, sendo 379,18% maior que na ligação com argamassa de areia artificial, variação com melhor comportamento. Isso demonstra que as ligações são realmente um ponto frágil de estruturas com bambu e que a resistência do colmo é maior do que a do bambu utilizado em composições estruturais (ligações). Neste âmbito, deve-se atentar à forma de utilização do bambu para garantir um bom desempenho, utilizando as características mais favoráveis à forma natural dos colmos.

### 4.3 Ensaio com ligações diagonais

#### 4.3.1 Modos de ruptura

Após a realização dos ensaios de compressão para as amostras em 45°, observou-se o modo de ruptura apresentado na figura 53. A fratura iniciou-se no corte bico de flauta, estendendo-se pelo colmo. Neste caso, todas as amostras tiveram a ruptura no colmo inclinado, na parte central da peça.

**Figura 53 – Modo de ruptura ligações 45° sem argamassa**



Fonte: Autores, 2021.

As ligações diagonais com argamassa de areia natural e artificial sofreram o mesmo tipo de ruptura que aquelas sem argamassa, conforme indicado na figura 54. Observa-se que a ruptura ocorreu de forma semelhante às de ligações sem argamassa, diferenciando-se pelo aumento da resistência das ligações.

**Figura 54 – Modo de ruptura predominante em ligações 45° com argamassa**



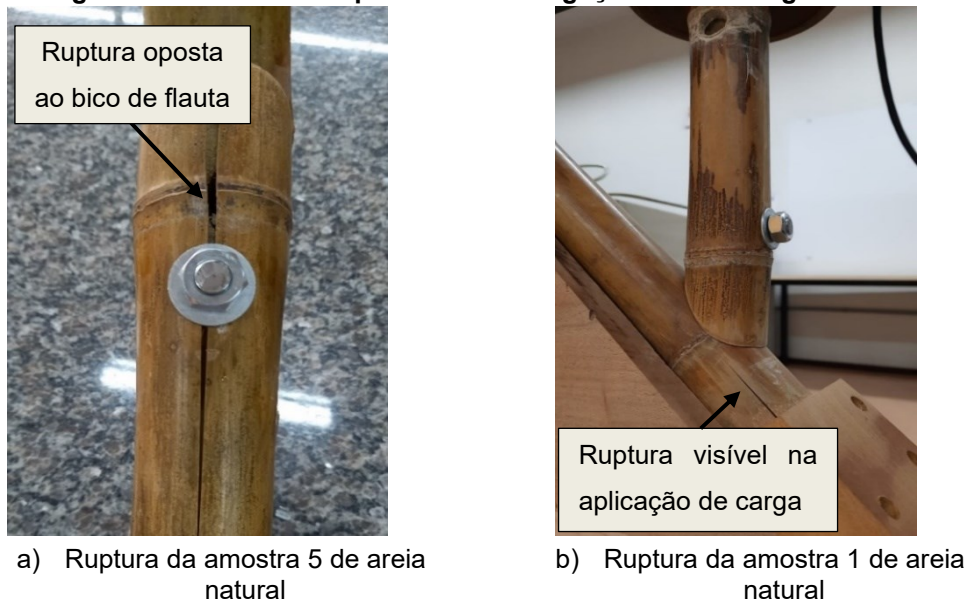
Fonte: Autores, 2021.

Algumas amostras apresentaram falha distinta, ocorrendo no lado contrário da boca de flauta (figura 55- a), no lado externo da ligação, porém no mesmo sentido do primeiro modo de ruptura. Além disso, para uma das amostras, a falha ocorreu logo



após o nó do colmo reto, apenas até chegar ao nó, porém a fissura foi visível apenas durante a aplicação da carga (figura 55-b).

**Figura 55 – Modos de ruptura distintos ligação 45° com argamassa**

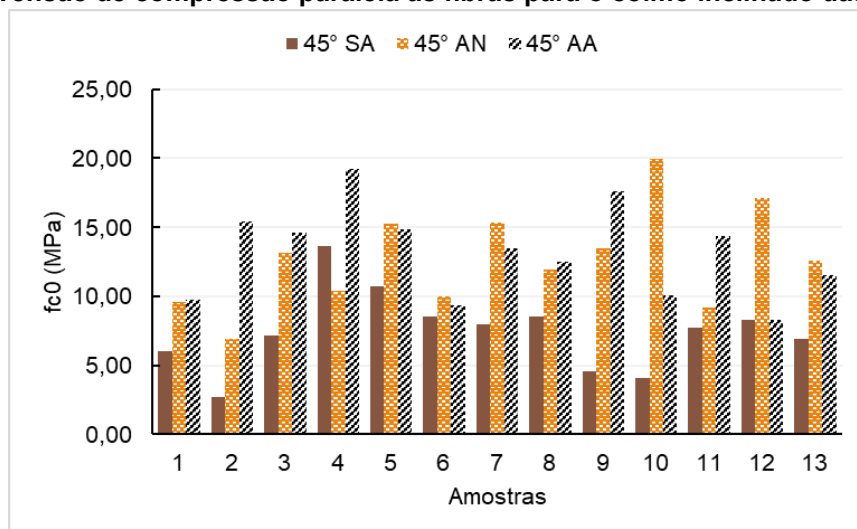


Fonte: Autores, 2021.

#### 4.3.2 Tensão Resistente

Para as ligações diagonais, obteve-se as tensões de compressão paralela as fibras para o colmo inclinado, conforme valores indicados na figura 55.

**Figura 56 – Tensão de compressão paralela as fibras para o colmo inclinado das ligações 45°**



Fonte: Autores, 2021.

Assim como nas ligações perpendiculares, observa-se uma melhora significativa na resistência das amostras com adição de argamassa. Na tabela 10 apresentam-se os valores médios e o desvio padrão (s) para as ligações diagonais.

**Tabela 10 – Resistência a compressão paralela as fibras do colmo inclinado (CIN) da ligação 45°**

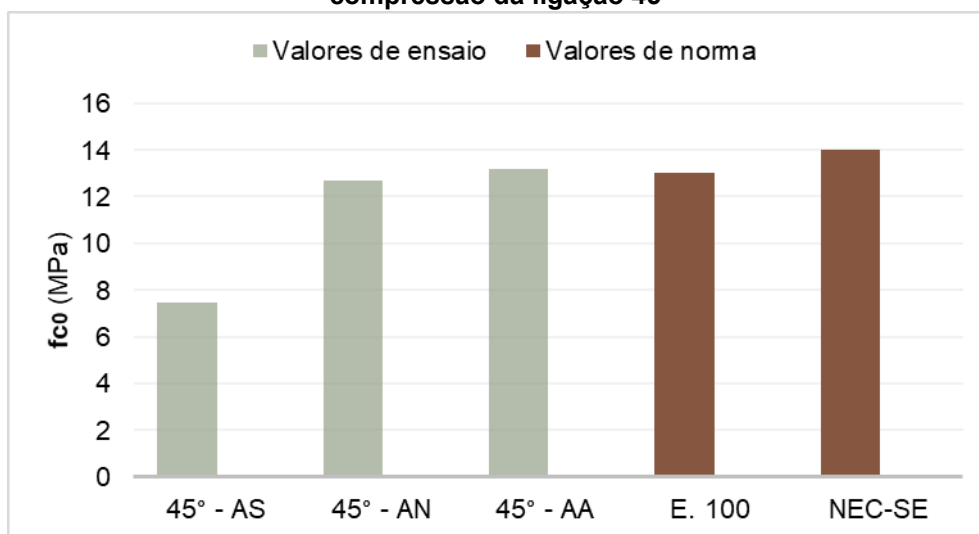
Ligação	$f_{c0}$ (MPa)	s (MPa)
45° - SA	7,44	2,84
45° - AN	12,67	3,61
45° - AA	13,16	3,29

Fonte: Autores, 2021.

Quando comparadas às amostras sem argamassa (SA), o aumento percentual para as ligações com argamassa de areia natural (AN) foi de 70,30%, já para amostras com argamassa de areia artificial (AA) alcançou 76,88%. Comparando-se as amostras com argamassa, aquelas com areia artificial obtiveram um aumento de resistência de 3,87% com relação às com areia natural.

Na figura 57 apresenta-se um comparativo com os valores admissíveis para compressão diametral das normas peruana E.100 Bambú (MIVS, 2012) e equatoriana NEC-SE- Guadua (MIDUV, 2106) e também resultados de estudos precedentes.

**Figura 57 –Comparativo entre valores de ensaio e admissíveis de norma para resistência à compressão da ligação 45°**

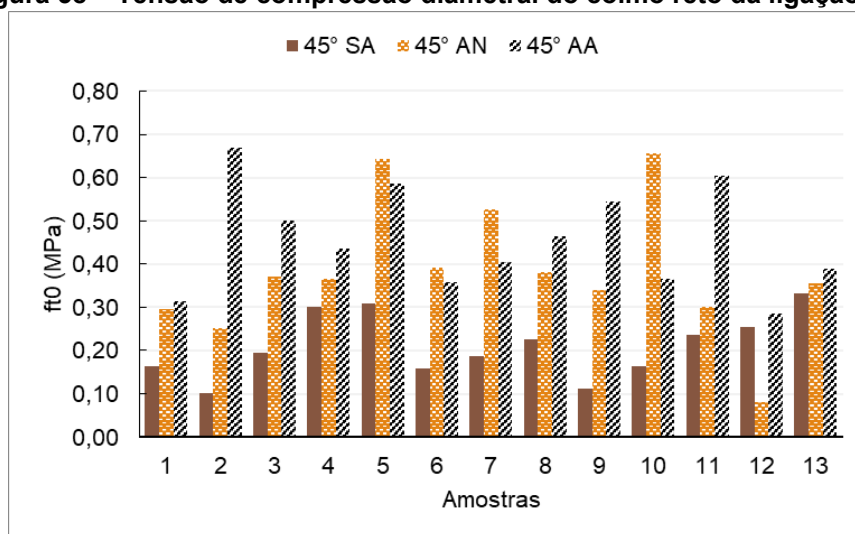


Fonte: Autores, 2021.

Observa-se que as ligações com argamassa apresentaram valores bastante coerentes com os de admissíveis apresentados em normas para os elementos submetidos à compressão, indicando ligações adequadas ao uso estrutural.

Além dos valores de resistência à compressão, analisaram-se os resultados para o colmo reto, calculando-se a resistência à compressão diametral e o cisalhamento no colmo. A figura 58 apresenta os resultados obtidos para a resistência à compressão diametral.

**Figura 58 – Tensão de compressão diametral do colmo reto da ligação 45°**



Fonte: Autores, 2021.

Analisando-se o gráfico da figura 58 observa-se que as amostras com argamassa apresentaram uma maior resistência à compressão diametral, destacando-se aquelas com areia artificial (AA), que apresentaram melhor comportamento. A tabela 11 indica os valores médios e o desvio padrão ( $s$ ) obtidos para a compressão diametral da ligação de 45°.

**Tabela 11 – Resistência à compressão diametral do colmo reto (CR) da ligação 45°**

Ligação	$f_{t0}$ (MPa)	$s$ (MPa)
45° - SA	0,22	0,07
45° - AN	0,38	0,16
45° - AA	0,46	0,12

Fonte: Autores, 2021.

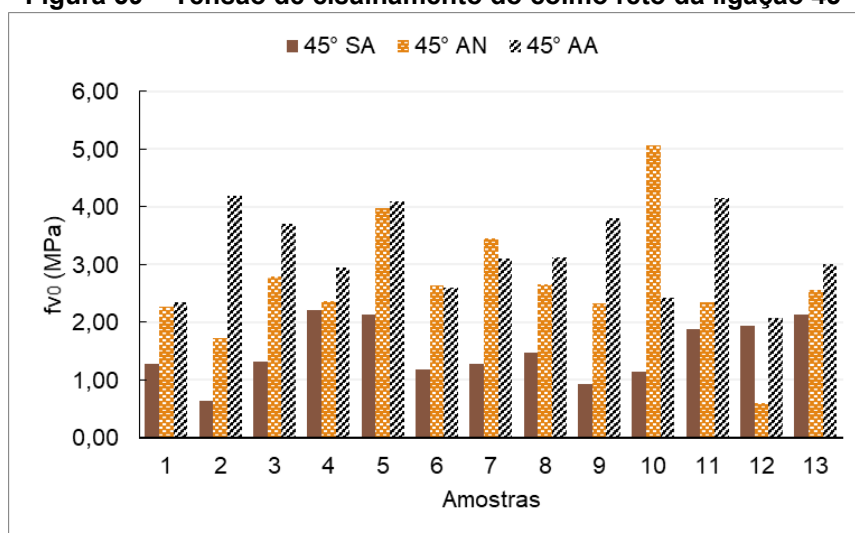
A resistência média à compressão diametral das ligações com argamassa de areia natural (AN) foi 72,73% maior do que o das ligações sem argamassa (SA). Já,

as ligações com argamassa de areia artificial (AA) apresentaram valores médios 21,05% maiores que aquelas de areia natural e ainda 109,09% maiores do que as ligações sem argamassa.

A resistência à compressão diametral foi pequena quando comparada à de compressão axial paralela as fibras do colmo inclinado. No entanto, a compressão axial pode ser considerada a carga última, pois foi o comportamento no qual ocorreu a ruptura.

Quanto ao cisalhamento, a figura 59 apresenta a resistência obtida para as amostras de ligação 45°.

**Figura 59 – Tensão de cisalhamento do colmo reto da ligação 45°**



Fonte: Autores, 2021.

Da mesma forma que nas demais tensões, o cisalhamento apresentou um acréscimo na resistência com preenchimento de argamassa, com destaque para as ligações com areia artificial. A tabela 12 apresenta os resultados médios e o desvio padrão (s).

**Tabela 12 – Resistência ao cisalhamento do colmo reto (CR) da ligação 45°**

Ligação	$f_{v0}$ (MPa)	s (MPa)
45° - SA	1,57	0,50
45° - AN	2,67	1,07
45° - AA	3,20	0,73

Fonte: Autores, 2021.

A resistência ao cisalhamento médio das ligações com argamassa de areia natural foi 70,06% maior do que o das ligações sem argamassa. Quando comparadas as ligações com argamassa de areia artificial com as de areia natural houve um acréscimo de 19,85% na tensão dessas. Já comparada com a ligação sem argamassa, a de areia artificial teve uma resistência 103,82% maior.

Suarez e Manrique (2003) encontraram para o cisalhamento valores de 2,82 MPa para ligações sem argamassa e 3,13 MPa com argamassa. Observa-se que os valores para cisalhamento obtidos por eles são bastante próximos aos encontrados nessa pesquisa, apesar disso, as ligações ensaiadas pelos autores sofreram um colapso por cisalhamento, enquanto às deste trabalho romperam por compressão paralela às fibras. Este fato pode ser devido às ligações diagonais de Suarez e Manrique (2003) serem distintas às desta pesquisa (figura 20).

É cabível mencionar que o teor de umidade para as amostras em 45° apresentou valores maiores do que o estipulado em norma, pelo período chuvoso no qual foram secas. Este fato pode ter interferido negativamente nos resultados de resistência, em especial nas com argamassa de areia artificial que apresentaram um teor de umidade maior, mesmo o desempenho delas sendo o melhor. Neste âmbito, o teor de umidade alto pode ter influenciado nas resistências das ligações que foram obtidas, se estivesse dentro do estipulado por norma, o desempenho das amostras de ligação 45° poderiam ter sido ainda melhores.

#### **4.4 Deformações e módulo de elasticidade**

Para o cálculo do módulo de elasticidade e elaboração do gráfico de tensão por deformação utilizou-se o arquivo com as leituras advindas do equipamento utilizado para a ruptura das amostras (EMIC). No entanto, para quase todas as amostras, os arquivos foram corrompidos apresentando grandes deslocamentos negativos durante a maior parte do ensaio (tabela 13). No total apenas 04 amostras apresentaram as leituras corretas, dessa forma a análise foi realizada a partir destes dados.

**Tabela 13 – Leituras de deslocamentos para a amostra 4 da ligação T sem argamassa**

<b>Tempo (s)</b>	<b>Deslocamento (mm)</b>	<b>Força (N)</b>
9,1333	-199840	9,9888
9,2333	-199840	9,9888
9,7333	-199840	9,9888
10,233	-199840	9,9888
10,683	-199840	9,9888
11,133	-199840	9,9888
11,467	-199840	9,9888
11,767	-199840	9,9888
12,083	-199840	9,9888
12,35	-199840	9,9888
12,583	-199840	9,9888

**Fonte: Autores, 2021.**

Diante da ausência de dados para elaboração dos gráficos e obtenção do módulo de elasticidade para todas as amostras, a tabela 14 apresenta os dados de deslocamentos últimos ( $d_{m\acute{a}x}$ ) para todas as amostras.

Para algumas amostras mesmo o dado de deslocamento último não foi processado de forma correta pelo equipamento. Dessa forma, as amostras com este comportamento não foram consideradas para o cálculo da média dos deslocamentos. Para a amostra 1 da ligação T com areia artificial (TAA1) ocorreu um erro no equipamento, por isso não foi possível gerar a planilha com os deslocamentos.

Conforme pode ser observado na tabela 14, os deslocamentos foram significativos, sendo estes visíveis durante os ensaios. Na figura 60 pode-se observar a deformação de amostra 12 da ligação T sem argamassa, que apresentou o maior valor de deslocamento máximo: 17,45 mm.

**Tabela 14 – Deslocamentos máximos**

<b>Ligação T</b>					
<b>Amostra</b>	<b>d<sub>máx.</sub> (mm)</b>	<b>Amostra</b>	<b>d<sub>máx.</sub> (mm)</b>	<b>Amostra</b>	<b>d<sub>máx.</sub> (mm)</b>
TSA1	6,43	TAN1	7,22	TAA1	-
TSA2	8,23	TAN2	-199830,00	TAA2	11,03
TSA3	8,64	TAN3	7,90	TAA3	11,14
TSA4	6,98	TAN4	9,22	TAA4	7,94
TSA5	-199840,00	TAN5	7,06	TAA5	-199840,00
TSA6	6,72	TAN6	-199840,00	TAA6	-199840,00
TSA7	8,30	TAN7	9,71	TAA7	7,38
TSA8	10,73	TAN8	6,50	TAA8	7,74
TSA9	10,01	TAN9	-199840,00	TAA9	16,44
TSA10	8,58	TAN10	6,90	TAA10	-199830,00
TSA11	9,30	TAN11	6,28	TAA11	9,95
TSA12	17,45	TAN12	-199840,00	TAA12	13,16
TSA13	6,55	TAN13	-199840,00	TAA13	10,74
<b>Média (mm)</b>	<b>8,99</b>	<b>Média (mm)</b>	<b>7,60</b>	<b>Média (mm)</b>	<b>10,61</b>
<b>Ligação 45</b>					
<b>Amostra</b>	<b>d<sub>máx.</sub> (mm)</b>	<b>Amostra</b>	<b>d<sub>máx.</sub> (mm)</b>	<b>Amostra</b>	<b>d<sub>máx.</sub> (mm)</b>
45SA1	7,99	45AN1	10,00	45AA1	10,72
45SA2	8,94	45AN2	12,38	45AA2	12,20
45SA3	8,88	45AN3	11,87	45AA3	12,60
45SA4	16,53	45AN4	10,99	45AA4	12,17
45SA5	13,34	45AN5	11,53	45AA5	16,18
45SA6	10,34	45AN6	10,76	45AA6	10,10
45SA7	13,47	45AN7	13,59	45AA7	13,72
45SA8	11,79	45AN8	9,26	45AA8	11,64
45SA9	9,40	45AN9	10,05	45AA9	12,32
45SA10	9,30	45AN10	13,93	45AA10	11,26
45SA11	13,39	45AN11	11,59	45AA11	12,23
45SA12	10,67	45AN12	13,45	45AA12	10,46
45SA13	12,38	45AN13	11,36	45AA13	14,42
<b>Média (mm)</b>	<b>11,26</b>	<b>Média (mm)</b>	<b>11,60</b>	<b>Média (mm)</b>	<b>12,31</b>

Fonte: Autores, 2021.

**Figura 60 – Deformação em ligação T**

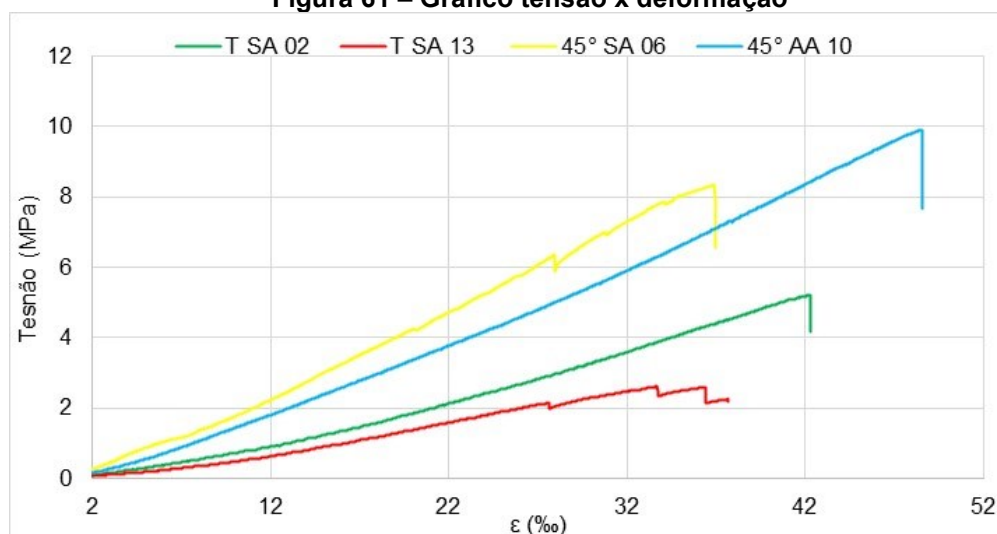


Fonte: Autores, 2021.

O comportamento observado na figura 60 repetiu-se nas ligações com argamassa de areia artificial, sendo que o valor médio de deslocamento foi maior do que para as sem argamassa. Mesmo com maiores deformações, as amostras com argamassa não apresentaram ruptura no colmo superior.

Elaborou-se um gráfico de tensão de compressão e deformação para as amostras que apresentaram todas as leituras de deslocamentos (TSA 02, TSA 13, 45°SA 06 e 45°AA 10), tal gráfico é apresentado na figura 61.

**Figura 61 – Gráfico tensão x deformação**



Fonte: Autores, 2021.



Observa-se um comportamento linear bem definido no trecho analisado, indicando o trecho elástico do ensaio de compressão. Os valores de deformação para as amostras analisadas ficaram entre 35‰, ou seja 3,5%, e 49‰, equivalente à 4,9%.

A amostras de 45° com argamassa de areia artificial alcançaram os maiores valores de deformação, bem como as tensões mais expressivas. Nota-se também uma queda brusca na tensão, indicando o momento do rompimento das amostras.

Quanto ao módulo de elasticidade, foi calculado apenas para as amostras com todas as leituras de deslocamentos. No entanto, seriam necessários mais dados amostrais para concluir a influência da argamassa nesta propriedade da ligação.

## 5 CONCLUSÃO

Com essa pesquisa foi possível realizar uma análise das ligações em bambu com e sem argamassa determinando o seu comportamento quando submetidas ao esforço de compressão. Foram ensaiadas 13 amostras para 6 variações, sendo 3 delas de ligação em T e 3 de 45°, com e sem argamassa. Para as amostras com argamassa utilizou-se areia natural e artificial, comparando o desempenho estrutural das mesmas.

A partir dos ensaios realizados encontrou-se a densidade média para os colmos de bambu de 851,19 kg/m<sup>3</sup>. Além disso, o teor de umidade para as ligações T ficou entre 13 e 16% e para as ligações 45° entre 24 e 28%, estes últimos acima dos valores de norma, influenciados pelo clima chuvoso durante a pesquisa.

Além disso, encontraram-se valores para a resistência à compressão diametral para o colmo superior da ligação em T sem argamassa de 0,22 MPa, com argamassa de areia natural de 0,59 MPa e de areia artificial 0,90 MPa. Para o colmo inferior, encontraram-se, para as mesmas amostras, a resistência à compressão paralela as fibras de 4,03 MPa sem argamassa, 11,53 MPa com areia natural e para a artificial de 17,15 MPa.

Para as ligações de 45°, encontraram-se valores médios da tensão à compressão paralela as fibras para o colmo inclinado de 7,44 MPa para amostras sem argamassa, 12,67 MPa para as de areia natural e 13,16 MPa para areia artificial. Já para o colmo reto, encontraram-se, para as mesmas amostras, valores médios para tensão à compressão diametral de 0,22 MPa sem argamassa, 0,38 MPa com argamassa de areia natural e para a artificial de 0,46 MPa. Para o cisalhamento na ligação de 45° encontram-se valores médios de 1,57 MPa para as amostras sem argamassa, 2,67 MPa com areia natural e para a artificial de 3,20 MPa.

Esses valores foram inferiores aos especificados em norma para a compressão diametral. Já para o cisalhamento e à compressão paralela as fibras foram compatíveis com os valores admissíveis das normas. Quando comparados aos resultados encontrados na literatura foram compatíveis para as duas ligações, diagonal e perpendicular. No entanto, para a de 45° não foi possível comparar com resultados da literatura, pois a ligação teve um modo de ruptura diferente daquele encontrado por outros autores.

Observa-se que as ligações com melhor desempenho foram aquelas com preenchimento de argamassa, com destaque para a argamassa com areia artificial. Portanto, a substituição da areia natural pela artificial traz bons resultados na ligação de bambu.

As ligações sem adição de argamassa obtiveram uma deformação menor do que as preenchidas com argamassa. Assim, constatou-se que além de melhorar a resistência à compressão, a utilização da argamassa também tornou o conjunto mais rígido.

Além do bom comportamento estrutural, a substituição da areia natural pela artificial é uma solução sustentável, pois evita o assoreamento dos rios e a degradação da biodiversidade. O bambu é um material renovável e sua utilização permite construções mais ecológicas do que aquelas com materiais convencionais. Além disso, proporciona uma redução do resíduo causado pela construção civil, uma vez que este material ao ser descartado pode ser devolvido ao meio ambiente sem prejudicá-lo, pois é biodegradável.

O teor de umidade determinado para as ligações de 45° foi superior a 20%, que é o limite estabelecido por norma para bambu seco. Dessa forma, os resultados de resistência à compressão e deformação podem ter sido influenciados pela umidade alta. Sabe-se que o bambu verde possui uma resistência característica inferior que o bambu seco. Portanto, se as amostras estivessem com a umidade dentro dos padrões determinados acredita-se que a ligação poderia resistir mais ao esforço de compressão.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se para os demais pesquisadores que analisem a influência da argamassa em outros tipos de ligação em bambu ou adicionando-se argamassa no colmo inferior das ligações em T. Também sugere-se realizar uma análise experimental do comportamento das ligações aqui descritas em uma tesoura comparando-se os resultados obtidos com um modelo computacional. Além disso, é possível reproduzir este trabalho para diferentes espécies de bambu.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040** – Gestão ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16828/1** – Estruturas de bambu: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16828/2** – Estruturas de bambu: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16916** – Agregados miúdo: Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 240** – Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45** – Agregados: Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52** – Agregados miúdo: Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222** – Concreto e argamassa: Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo, 2020.

ANDRADE, J. B.; AMARAL, E. F. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**, 1 ed., Rio de Janeiro: ICH, 2017.

ARAÚJO, L. F.; PALERMO, G. P. M.; PEREIRA, K. R. M. Cultivo e manejo de bambuzais: um referencial teórico. **Editora científica digital**. 30 jun. 2021. Disponível em: < <https://www.editoracientifica.org/articles/code/210604902> > Acesso em: 07 nov. 2021.

BARBOSA, M. T. G.; COURA, C. V. G. e MENDES, L. O. **Estudo sobre a areia artificial em substituição a natural para confecção de concreto**. Porto Alegre, 2008.

BBK AMBIENTAL. Resíduos da construção civil: um panorama sobre o descarte no Brasil. **Saneamento em pauta**, 02 nov. 2020. Disponível em: < <https://blog.brkambiental.com.br/residuos-da-construcao-civil/> > Acesso em 04 nov. 2021.

BENAVIDES, A. S. J. **Proposta de sistema construtivo para habitação de interesse social com bambu guadua: um estudo de caso no Equador**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

BERALDO, A. L.; ALEIXO, L.R.P. **Bambu: Características e Aplicações na Construção Civil e em Arquitetura**. Canal 6 Editora: Bauru. 2019.

CAEIRO, J. G. B. M. **Construção em bambu**. Dissertação de mestrado – Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, nov. 2010.

CARDOSO, L. M. **Tudo sobre os resíduos sólidos da construção civil**. 2017. Disponível em: < <https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/> >. Acesso em: 02 nov. 2021.

CASTRO, R. M. S. **O bambu no Brasil e no Mundo**. jan. 2010.

CHAMORRO, L. J. C. **Análise Estrutural Dinâmica de um Pórtico Plano de Bambu da Espécie *Phyllostachys aurea***. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, set. 2011.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Construção Sustentável: a mudança em curso**. Brasília, 2017.

CRUZ, M. L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: comportamento a flambagem**. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, ago. 2002.

CRUZ, T. Casa de Bambu: Tudo que você precisa saber para criar o projeto dos sonhos. **VivaDecoraPRO**, 02 out. 2019. Disponível em: < <https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/casa-de-bambu/> >. Acesso em: 02 nov. 2021.

CRUZ, T. Materiais biodegradáveis na arquitetura: conheça 6 exemplos surpreendentes. **VivaDecoraPRO**, 30 mar. 2020. Disponível em: < <https://www.vivadecora.com.br/pro/curiosidades/materiais-biodegradaveis/> >. Acesso em: 03 nov. 2021.

E.100 BAMBÚ. **Norma Técnica**. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Peru, 2012.

EL PAIS. **Simón Vélez y el acero de origen vegetal**. 2014. Disponível em: [https://elpais.com/elpais/2014/08/01/del\\_tirador\\_a\\_la\\_ciudad/1406873280\\_140687.html](https://elpais.com/elpais/2014/08/01/del_tirador_a_la_ciudad/1406873280_140687.html). Acesso em: 17 set. 2021.

FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P.L. Bambus brasileiros: morfologia, taxnomia, distribuição e conservação. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**, Rio de Janeiro, 2017.

FITRIANTO, Andrea. **Ponte de bambu na Indonésia demonstra alternativas sustentáveis para infraestruturas**. 2017. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/874064/ponte-de-bambu-na-indonesia-demonstra-alternativas-sustentaveis-para-infraestruturas>. Acesso em: 02 nov. 2021.

GOMES, C. P.; LEITE, G. U.; SENA, R. W. R. e ANDRADE, E. M. G. Impacto ambiental e gerenciamento de resíduos sólidos advindos da construção civil no Brasil: uma revisão de literatura. **Id on Line revista multidisciplinar e de psicología**. vol. 15, num. 55, p. 729-742, mai. 2021. Disponível em: < <https://idonline.emnuvens.com.br/id> > Acesso em 04 nov 2021.

GHAVAMI, K.; SHARMA, B. e HARRIES, K. A. Methods of determining transverse mechanical properties of full-culm bamboo, **Construction and Building Materials**, v. 38, 2013, p. 627-637, 2013.

GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P. e MOREIRA, L. E. Bambu como material de engenharia. **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós ocupação**, p. 305-348. Porto Alegre, 2017.

HEEMANN, F. W. **Substituição de agregado natural em argamassa por areia artificial**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí. 10 dez. 2014.

HOLSBACH, T. S. **Avaliação da substituição da areia natural por areia artificial em argamassa de cimento cal e areia para assentamento**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande Do Sul, Ijuí, 2004.

ISHIKAWA, P. H. **Propriedades de argamassa de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, 2003.

JAYANETTI, D. L.; FOLLETT, P. R. **Bamboo in construction: an introduction**. Ed. International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). Colombia: TRADA Technology Limited, Department for International, Development (DFID), 1998.

JÚNIOR, M. L. A. **Elaboração de cartilha para montagem de cobertura em bambu para moradias rurais**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, set. 2014.

KAMINSKI, S.; LAWRENCE, A. e TRUJILLO, D. **Structural use of bamboo: Part 1: Introduction to bamboo**. Ago., 2016. Disponível em: < [https://www.researchgate.net/publication/305808084\\_Structural\\_use\\_of\\_bamboo\\_Part\\_1\\_Introduction\\_to\\_bamboo](https://www.researchgate.net/publication/305808084_Structural_use_of_bamboo_Part_1_Introduction_to_bamboo) > Acesso em: 05 nov. 2021.

LANA, C. A. C. **Desenvolvimento de treliças planas de bambus de pequeno diâmetro com bioconexões compósitas**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, mai. 2016.

LIESE, W. Simpósio internacional Guadua, 2004. **Preservation of a bamboo culm in relation to its structure**. Pereira. Colombia, 2004.

LIBRELOTTO, L. I e OSTAPIV, F. **Bambu: Caminhos para o desenvolvimento sustentável no Brasil**. Florianópolis: Grupo de Pesquisa Virtuhab/UFSC, 2019.

LIMA, T. M. e NEVES, C. A. R. **Sumario mineral**. vol. 35. Brasília, 2016.

LÓPEZ, O. H. **Bamboo, the gifts of the gods**. Colombia, Bogota: D'yinni Ltda, 2003.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Edusp, 2002.

MACÊDO, A. T.; MARTINS, M. F. A sustentabilidade urbana sob a ótica da construção civil: um estudo nas empresas construtoras de Campina Grande – PB. **Revista de gestão ambiental e sustentabilidade**, São Paulo, vol. 4, núm. 1, p.139-157, jan. 2015.

THORNS, E. **8 Biodegradable materials the construction industry needs to know about**. 02 mai., 2018. Disponível em: < <https://www.archdaily.com/author/ella-thorns>> Acesso em: 03 nov. 2021.

MAURICIO, A. Conhecendo o broto de bambu. **Portal Universidade Federal do Paraná – UFPR**. 15 jun. 2016. Disponível em: <http://www.acomidaenossa.ufpr.br/portal/conhecendo-o-broto-de-bambu/> Acesso em: 05 nov. 2021.

MORÉ, T. N. M. **Estrutura treliçada em bambu para utilização em telhados residenciais**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, ago.2003.

MURAD, J. **As propriedades físicas, mecânicas e meso-estrutural do bambu Guadua Weberbaueri do Acre**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica (PUC), Rio de Janeiro, Brasil, 2007.

NEC – NORMA EQUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. **Estructuras de guadúa (GaK)**. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2016.

NETO, F. L. **Caracterização de propriedades físicas e mecânicas da espécie de bambu Phyllostachys aurea da região de Pato Branco**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

OLIVEIRA, D. G.; RIBEIRO, N. P.; CEREDA, M. P. Culvito, manejo e colheita do bambu. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**, 1 ed., p. 28-41, Rio de Janeiro: ICH, 2017.

OLIVEIRA, M. F. A. **Propriedades físico-mecânicas de duas espécies de bambu termorretrificadas Bambusa tuldoides Munro e Phyllostachys aurea**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Saropédica, mai., 2012.

OLIVEIRA, L. F. A. **Conhecendo bambus e suas potencialidades para uso na construção civil**. Monografia – Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

PADOVAN, R. B. **O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010.

PALAMIN, C. M. **Subsídios para elaboração de um plano de gestão e gerenciamento de resíduos da construção civil em cidades de pequeno porte**. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

PARMA, D. F.; SILVA, R. V.; MACHADO, E. P. e GONÇALVES, A. P. S. **Bambuseae (Poaceae, Bambusoideae) no município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil**. Universidade Federal de Viçosa, 2016.

PASTORE, M., RODRIGUES, R. S., SIMÃO-BIANCHINI, R., FILGUEIRAS, T. DE S. **Plantas exóticas invasoras na Reserva Biológica do Alto da Serra de Paranapiacaba, Santo André – SP: guia de campo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2012. 46 p.

PEREIRA, M. A. R. **Projeto Bambu: introdução de espécie, manejo, caracterização e aplicações**. Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. Bauru. 2012.

PERES, P. **Construção civil é o ramo que mais consome materiais no mundo**. Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.usp.br/aun/antigo/exibir?id=4848&ed=853&f=2>> Acesso em: 04 nov. 2021.

QUINTERO, C. A. S. **Desenvolvimento de uma ligação estrutural para construção com bambu Guadua**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

RADASKIEVICZ, T. **Influência do tipo de ligação no desempenho estrutural de treliças de bambu Mosô**. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

RUGGIERO, M. N. **O bambu e a construção da arquitetura contemporânea: um olhar às obras no Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SANTOS, M. A.; ROCHA, D.; SCHETTINO, S. C.; BASTOS, I. A. H. **Diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos nas empresas de construção civil de Aracaju-Sergipe com uma proposta de sustentabilidade**. In: SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE RESÍDUOS, 3., 2012, Aracaju. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe.

SILVA, R. M. de A. **Análise da influência da concentração de feixes de fibras de bambu em ensaios de pisos**. Monografia de projeto final em Engenharia Industrial Madeireira – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Itapeva, 2010.



SOARES, S. F. B de S. **Estruturas em Bambu**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto, jul. 2013.

SOUZA, E. Se projetássemos um material de construção ideal, ele se pareceria com o bambu. **ARCHDAILY**. 12 dez. 2017. Disponível em: < <https://www.archdaily.com.br/br/885322/se-projetassemos-um-material-de-construcao-ideal-ele-se-pareceria-com-o-bambu> > Acesso em: 03 nov. 2021.

SOUZA, A. M. **Os diversos usos do bambu na construção civil**. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

SUAREZ, D. L. J. e MANRIQUE, A. G. S. **Estudio de uniones em guadua com ângulo de inclinación entre elementos**. Trabalho de conclusão de curso – Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, 2003.

VASATA, A. C. D. P. **Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de bambu Bambusa tuldoides e Phyllostachys aurea**. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

WAKCHAURE, M.; KUTE, S. **Effect of moisture content on physical and mechanical properties of bamboo**. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing) Asian Journal Of Civil Engineering (Building And Housing), v. 13, n. 6, p. 753–763, dez. 2012.

XIAO, Y., et al. **Modern Engineered Bamboo Structures**: Proceedings of the Sustainable Bamboo Building Materials Symposium of BARC 2018 and the 3rd International Conference on Modern Bamboo Structures (ICBS 2018), Beijing, China, 25-27 June 2018. CRC Press, 2019.

## APÊNDICE A – DIMENSÕES E TENSÕES POR AMOSTRA

**Tabela 15 – Dimensões, força e tensão por amostra em T**

Amostra	CS		CI		l (mm)	L (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )		Força (kgf)	Tensão (MPa)	
	D (mm)	t (mm)	D (mm)	t (mm)			CS	CI		CS	CI
TSA1	53,25	16,90	50,83	12,65	169,47	204,94	14175,30	884,04	333,07	0,23	3,77
TSA2	46,58	10,03	45,05	10,29	174,73	214,47	12784,59	644,73	343,26	0,27	5,32
TSA3	50,42	13,70	49,65	12,85	184,68	204,32	14624,73	872,49	396,23	0,27	4,54
TSA4	58,00	13,40	54,09	11,74	187,96	226,99	17122,39	888,81	355,48	0,21	4,00
TSA5	49,28	12,67	48,08	10,75	223,11	245,68	17270,30	721,03	240,38	0,14	3,33
TSA6	51,87	15,79	48,73	12,31	195,42	210,59	15920,33	822,97	293,35	0,18	3,56
TSA7	56,46	14,44	54,87	12,11	142,81	207,95	12663,85	928,24	539,85	0,43	5,82
TSA8	51,09	13,14	45,54	8,79	137,32	193,05	11018,72	567,74	362,61	0,33	6,39
TSA9	53,26	12,45	51,12	10,86	221,32	262,15	18514,03	779,33	198,62	0,11	2,55
TSA10	46,74	12,02	45,20	12,42	160,64	174,92	11792,40	760,67	301,50	0,26	3,96
TSA11	53,08	12,52	47,55	10,31	179,44	230,98	14959,50	686,21	238,35	0,16	3,47
TSA12	51,35	10,67	46,36	11,53	197,54	244,90	15933,25	735,23	218,99	0,14	2,98
TSA13	52,38	12,09	51,45	11,18	246,77	290,14	20303,41	804,97	213,90	0,11	2,66
TAN1	50,60	12,42	48,01	9,90	218,96	241,22	17401,72	669,54	869,87	0,50	12,99
TAN2	52,32	14,07	50,09	14,66	146,89	182,42	12072,02	984,67	861,72	0,71	8,75
TAN3	47,65	9,43	47,51	9,48	140,02	186,33	10479,91	636,82	1040,99	0,99	16,35
TAN4	44,01	9,68	47,64	8,71	143,77	201,15	9938,93	591,90	1288,50	1,30	21,77
TAN5	51,16	12,41	50,64	9,72	174,68	233,31	14037,22	698,58	551,05	0,39	7,89
TAN6	53,27	12,88	50,52	10,56	205,22	249,68	17170,02	750,11	1003,30	0,58	13,38
TAN7	55,04	11,24	50,80	10,85	249,72	304,20	21589,52	773,33	667,17	0,31	8,63
TAN8	47,02	10,54	47,22	10,48	204,62	243,49	15112,63	691,07	994,13	0,66	14,39
TAN9	55,77	11,16	54,78	10,74	228,35	267,08	20004,22	833,22	407,43	0,20	4,89
TAN10	49,04	10,53	48,38	8,98	205,01	258,90	15792,30	618,79	794,49	0,50	12,84
TAN11	50,32	11,91	49,51	10,78	166,22	213,72	13136,74	747,09	811,81	0,62	10,87
TAN12	48,06	11,98	48,97	10,81	206,79	230,80	15609,09	739,36	746,62	0,48	10,10
TAN13	54,89	13,67	51,72	11,89	194,23	231,37	16746,71	854,62	598,92	0,36	7,01
TAA1	49,275	15,19	45,965	9,2	234,775	252,9	18171,82	597,78	1310	0,72	21,91
TAA2	48,655	12,24	47,005	10,29	225,335	269,785	17221,70	676,60	1343,5	0,78	19,86
TAA3	48	12,405	45,445	11,46	177,885	222,375	13412,21	714,92	1524,81	1,14	21,33
TAA4	53,95	14,97	51,07	12,795	147,69	181,075	12515,91	897,84	1100,06	0,88	12,25
TAA5	49,435	13,835	47,69	11,5	134,015	171,655	10406,58	757,61	1201,92	1,15	15,86
TAA6	47,45	11,395	44,725	9,055	202,275	239,47	15076,42	571,75	673,28	0,45	11,78
TAA7	52,225	10,73	48,17	9,09	220,695	265,22	18104,68	622,90	1101,08	0,61	17,68
TAA8	51,235	11,6	49,23	9,53	170,585	217,17	13728,64	665,63	1042,01	0,76	15,65
TAA9	44,78	14,255	44,205	12,45	144,82	181,09	10186,68	742,75	1172,38	1,15	15,78
TAA10	52,72	10,735	50,285	10,18	214,29	264,915	17745,87	722,70	794,49	0,45	10,99
TAA11	50,69	13,91	48,41	11,43	164,17	188,155	13071,82	766,55	1533,98	1,17	20,01
TAA12	48,335	13,07	46,3	11,69	195,89	236,475	14872,84	742,86	1479,99	1,00	19,92
TAA13	47,44	11,595	45,65	9,97	167,64	227,725	12492,29	636,85	1572,68	1,26	24,69

Fonte: Autores, 2021.

**Tabela 16 - Dimensões, força e tensão por amostra em 45°**

Amostra	CR		CIN		i (mm)	R (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Força (kgf)	Tensão (MPa)
	D (mm)	t (mm)	D (mm)	t (mm)					
45SA1	51,15	10,31	46,56	11,63	212,66	239,81	744,07	445,12	5,98
45SA2	49,66	12,34	47,17	10,70	202,89	171,83	702,60	192,51	2,74
45SA3	51,31	11,96	47,70	9,57	221,81	206,18	645,05	459,38	7,12
45SA4	50,36	10,76	40,66	8,77	192,47	202,81	499,72	681,43	13,64
45SA5	45,61	10,37	43,76	9,38	242,73	197,92	575,59	618,28	10,74
45SA6	48,87	10,20	39,69	8,98	255,81	246,31	496,45	421,69	8,49
45SA7	48,13	11,10	42,27	9,96	215,57	233,59	583,15	466,51	8,00
45SA8	52,29	12,67	46,38	9,81	210,04	207,07	638,75	544,94	8,53
45SA9	49,69	9,47	45,68	10,29	213,03	241,00	654,91	299,46	4,57
45SA10	48,84	10,97	40,55	10,45	183,50	133,93	579,77	236,31	4,08
45SA11	40,91	8,04	42,78	10,26	204,62	217,99	606,45	466,51	7,69
45SA12	51,47	10,71	41,91	10,81	233,61	175,89	619,62	513,36	8,29
45SA13	44,66	10,92	40,96	15,75	137,57	171,17	818,33	562,26	6,87
45AN1	46,76	9,57	44,07	11,07	158,89	208,59	669,81	639,67	9,55
45AN2	51,36	11,82	48,48	11,24	238,77	181,37	756,73	520,49	6,88
45AN3	45,15	9,46	46,22	10,65	250,75	240,65	683,85	896,35	13,11
45AN4	51,40	12,44	46,87	12,24	166,49	195,13	783,48	812,83	10,37
45AN5	45,53	11,56	45,29	9,65	159,75	143,63	613,02	935,05	15,25
45AN6	48,90	11,45	49,62	11,26	198,43	181,97	777,67	776,16	9,98
45AN7	48,93	11,74	42,35	10,11	176,14	158,56	592,19	907,55	15,33
45AN8	45,82	10,28	45,71	9,36	225,93	185,57	602,96	719,12	11,93
45AN9	43,99	10,03	45,11	9,72	246,63	250,21	614,82	828,10	13,47
45AN10	46,81	9,54	45,93	11,03	248,75	204,81	700,23	1399,53	19,99
45AN11	45,46	9,13	49,31	12,70	255,45	258,76	857,01	786,34	9,18
45AN12	51,06	10,96	45,38	10,95	237,29	1274,89	686,37	1177,48	17,16
45AN13	47,89	10,50	49,27	10,33	252,63	236,90	715,28	898,39	12,56
45AA1	44,47	9,41	47,40	11,03	179,40	227,52	725,41	707,91	9,76
45AA2	48,66	12,18	48,65	10,91	220,02	158,24	739,87	1142,84	15,45
45AA3	46,24	9,83	46,64	10,51	202,03	194,35	683,23	999,22	14,62
45AA4	46,99	10,89	42,93	9,41	261,67	238,19	564,67	1084,79	19,21
45AA5	49,06	11,00	47,65	10,96	242,53	169,00	725,91	1078,67	14,86
45AA6	48,09	10,43	46,85	12,49	142,83	194,58	796,54	743,56	9,33
45AA7	49,81	10,23	47,30	12,35	165,88	239,88	797,52	1075,62	0,00
45AA8	48,54	11,35	48,91	11,03	146,36	188,06	751,47	942,18	12,54
45AA9	48,06	10,82	48,48	10,57	236,71	217,02	717,18	1259,98	17,57
45AA10	52,06	12,36	52,33	12,92	139,64	222,01	930,61	938,11	0,00
45AA11	52,65	12,00	52,24	11,71	167,66	173,77	852,89	1227,39	14,39
45AA12	52,64	11,33	51,45	11,57	174,86	207,53	829,92	690,60	0,00
45AA13	51,16	10,36	52,66	12,35	202,42	235,03	901,68	1035,89	11,49

Fonte: Autores, 2021.