

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
ÁREA DO CONHECIMENTO DAS CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS**

**FLÁVIA CRISTINA DALL' AGNOL**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DO BAMBU EM VIGAS DE CONCRETO  
ARMADO EM SUBSTITUIÇÃO AO AÇO**

**CAXIAS DO SUL**

**2019**

**FLÁVIA CRISTINA DALL' AGNOL**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DO BAMBU EM VIGAS DE CONCRETO  
ARMADO EM SUBSTITUIÇÃO AO AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Engenharia Civil da Universidade  
de Caxias do Sul como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientadora: Prof. Me. Luciano Zatti

**CAXIAS DO SUL**

**2019**

**FLÁVIA CRISTINA DALL' AGNOL**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO USO DO BAMBU EM VIGAS DE CONCRETO  
ARMADO EM SUBSTITUIÇÃO AO AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Civil.

Aprovada em: 25 / 11 / 2019

Banca Examinadora

---

Prof. Me. Luciano Zatti

Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Prof. Me. Gustavo Ribeiro da Silva

Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Prof. Me. Muriel Scopel Froener

Universidade de Caxias do Sul - UCS

---

Prof. Me. Vinício Cecconello

Universidade de Caxias do Sul - UCS

Dedico esse trabalho a todos que estiveram presentes na minha caminhada acadêmica. Em especial aos meus pais José e Laura por todo incentivo e apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais José e Laura por todo incentivo e apoio desde os meus primeiros passos na vida escolar. Tenho orgulho de ser sua filha, pois vocês são um exemplo de força e perseverança.

Ao meu querido filho Rafael por estar sempre ao meu lado, trazendo alegria e leveza para minha vida. Sem esquecer as pipocas nos finais de tarde. Você é a razão do meu viver.

Ao meu esposo Divandir por todo apoio, compreensão e parceria. Por ficar muitos anos cuidando do nosso filho, fazendo janta e colocando ele para dormir enquanto eu viajava para estudar. Obrigada por sentar-se ao meu lado inúmeras vezes ao longo da minha vida acadêmica e me dar conforto quando eu mais precisava.

Agradeço a minha irmã Viviane por estar ao meu lado, sempre apoiando as minhas escolhas.

Aos meus sobrinhos Felipe, Mirela e Alexandre por todos os momentos de alegria.

Aos membros da Associação de bambuzeiros do Rio Grande do Sul em especial o senhor José Ene e ao doador dos bambus, o senhor Angelo Pedrtoti por confiarem na minha pesquisa científica.

Aos professores e pesquisadores Antônio Ludovico Beraldo e Khosrow Ghavami por participarem desta pesquisa trazendo conhecimento, abrilhantando e enriquecendo este trabalho. Muito obrigada, foi uma honra aprender com vocês.

Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e à conclusão da graduação em especial a professora Muriel S. Froener que foi minha orientadora do TCC I e que trouxe conhecimento e amizade.

Agradeço aos meus colegas, pois tiveram um papel fundamental ao longo da graduação.

Agradeço às minhas três cachorras Pipoca, Cookie e Cereja por me proporcionarem inúmeros momentos de felicidade.

*“Projetistas fazem canais, arqueiros airam flechas, artífices modelam a madeira e o barro, o homem sábio modela-se a si mesmo.”*

**Siddhartha Gautama - Buda**

## RESUMO

O desempenho do bambu como armadura longitudinal em estruturas de concreto armado pode ser bem sucedido se as condições de limite de segurança forem consideradas. O objetivo deste trabalho é avaliar a viabilidade da substituição de bambu como armadura tracionada em vigas isoladas biapoiadas de concreto armado, submetidas à flexão dimensionadas para o estado limite último, e a influência da aderência entre os materiais propostos. Corpos de prova de colmos de bambu *Dendrocalamus Asper* foram submetidos à ensaios de tração paralela às fibras, compressão paralela às fibras e cisalhamento respeitando às diretrizes determinadas pela ISO 22157, Parte I e Parte II. Em relação à tração na flexão o comportamento do tratamento superficial 1 mostrou que a utilização do bambu como armadura longitudinal nas vigas é viável do ponto de vista estrutural pois a viga de concreto armado com bambu, tratado com verniz e areia grossa, alcançou uma resistência média de 14,18 MPa quando tracionada, considerando o estado limite último em comparação à viga de concreto armado com aço que obteve uma resistência média de 17,56 MPa.

**Palavras-chave:** bambu. comportamento estrutural. materiais sustentáveis. concreto. aço.

## ABSTRACT

Bamboo's performance as longitudinal reinforcement in reinforced concrete structures can be successful if safety boundary conditions are considered. The objective of this work is to evaluate the feasibility of replacing bamboo as tensile reinforcement in insulated beams of reinforced concrete, submitted to bending dimensioned to the ultimate limit state, and the influence of adhesion between the proposed materials. *Dendrocalamus Asper* bamboo stem specimens were subjected to fiber parallel tensile, fiber parallel compression and shear tests in accordance with the guidelines determined by ISO 22157, Part I and Part II. Regarding the flexural traction, the behavior of the surface treatment 1 showed that the use of bamboo as longitudinal reinforcement in the beams is structurally viable because the bamboo reinforced concrete beam, treated with varnish and coarse sand, reached a medium strength of 14,18 MPa when tensioned, considering the ultimate limit state compared to the steel-reinforced concrete beam which obtained an average strength of 17,56 MPa.

**Keywords:** bamboo. structural behavior. sustainable materials. concrete. steel.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de elementos estruturais de concreto armado.....	23
Figura 2 - Presença de bambus nos continentes .....	26
Figura 3 - Principais órgãos vegetativos dos bambus.....	28
Figura 4 - Rizoma do tipo leptomorfo ou alastrante.....	29
Figura 5 - Rizoma do tipo paquimorfo ou entoucerante.....	30
Figura 6 - Seção de um colmo e suas denominações .....	31
Figura 7 - Imagem macroscópica do bambu <i>Dendrocalamus Asper</i> .....	32
Figura 8 - Imagem MEV do bambu <i>Dendrocalamus Asper</i> .....	32
Figura 9 - Composição do bambu.....	33
Figura 10 - Programa experimental .....	43
Figura 11 - Estudo exploratório.....	44
Figura 12 - Fazenda Giganteous (a) touceira com 15 anos e (b) touceira com 6 anos.....	49
Figura 13 - Local de secagem (a) material disponível e (b) material utilizado neste trabalho.....	50
Figura 14 - Ensaio de compressão paralela às fibras.....	51
Figura 15 - Detalhe do corpo de prova de flexão .....	52
Figura 16 - Ensaio de cisalhamento paralela as fibras.....	53
Figura 17 - Corpo de prova sugerido pela ISO 22157 (2004) Parte II .....	54
Figura 18 - Corpos de prova (a) antes do ensaio e (b) depois do ensaio .....	55
Figura 19 - Corpos de prova (a) antes do ensaio e (b) depois do ensaio .....	55
Figura 20 - Corpos de prova (a) detalhe do dispositivo antes do ensaio e (b) depois do ensaio .....	56
Figura 21 - Corpo de prova cilíndrico .....	56
Figura 22 - Ensaio de densidade.....	58
Figura 23 - Concretagem dos corpos de prova para o ensaio de aderência.....	59
Figura 24 - Dispositivo metálico para auxiliar no ensaio de aderência.....	59
Figura 25 - Corpo de prova no dispositivo metálico no momento do ensaio.....	60
Figura 26 - Seção transversal vigas de bambu .....	64
Figura 27 - Montagem das armaduras das vigas de bambu.....	64
Figura 28 - Ensaio de tração na flexão .....	65
Figura 29 - Detalhe da talisca sem tratamento com nó.....	71
Figura 30 - Ensaio de resistência de aderência dos materiais .....	72
Figura 31 - Escorregamento da talisca CBTR2 no momento do ensaio.....	73

Figura 32 - Ensaio de resistência à tração na flexão.....	75
Figura 33 - Tipos de fissuras (a) detalhe CBTR1 e (b) detalhe CBTR2 .....	76
Figura 34 - Tipos de fissura CCA (a) detalhe borda comprimida e (b) vista lateral .....	77
Figura 35 - Pesos das vigas.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características de algumas espécies de bambu .....	27
Tabela 2 - Valores médios de massa específica aparente em ripas de bambu.....	35
Tabela 3 - Resistência à compressão paralela as fibras em MPa obtida por diferentes autores .....	37
Tabela 4 - Resistência à tração paralela às fibras em MPa obtida por diferentes autores .....	38
Tabela 5 - Razão entre a tensão de tração e o peso específico de alguns materiais .....	39
Tabela 6 - Resultados obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras.....	66
Tabela 7 - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.....	67
Tabela 8 - Teor de umidade das peças do ensaio de compressão paralela às fibras.....	68
Tabela 9 - Teor de umidade das peças do ensaio de cisalhamento paralela às fibras .....	69
Tabela 10 - Teor de umidade das peças do ensaio de flexão.....	69
Tabela 11 - Teor de umidade das peças do ensaio de tração.....	69
Tabela 12 - Tensão de aderência aos 28 dias.....	70
Tabela 13 - Resultados dos ensaios de tração na flexão.....	74

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipo de aços / características de uso .....	25
Quadro 2 - Cobrimento nominal.....	25

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Celsius
CA	Concreto Armado
cm	Centímetros
cm <sup>3</sup>	Centímetros Cúbico
CP	Corpo de Prova
CPs	Corpos de Provas
d	Dias
D	Diâmetro Externo
DN	Diâmetro Nominal
DNG	Distribuição Normal de Gauss
E	Módulo de Elasticidade Nominal
F	Curva de Carga
f <sub>c</sub>	Resistência à Compressão
f <sub>ck</sub>	Resistência Mínima do Concreto
f <sub>ct</sub>	Resistência à Tração
F <sub>ult</sub>	Carga Máxima
f <sub>y</sub>	Escoamento Nominal
f <sub>yk</sub>	Tensão de Escoamento
g	Grama
g/cm <sup>3</sup>	Grama por Centímetro Cúbico
h	Horas
ISO	<i>International Organization of Standardization</i>
IMBAR	<i>International Bamboo and Rattan Organisation</i>
INBAR	<i>International Network for Bamboo and Rattan</i>
kgf/cm <sup>2</sup>	Quilograma Força por Centímetro Quadrado
kg/m <sup>3</sup>	Quilograma por Metro Cúbico
kN	Kilo Newton
kN/m <sup>3</sup>	Kilo Newton por Metro Cúbico
L	Espessura da Parede no Comprimento
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
mm	Milímetro

mm/s	Milímetro por Segundo
mm/cm <sup>3</sup>	Milímetro por Centímetro Cúbico
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura ou Tensão
MPa	Mega Pascal
MPa/s	Mega Pascal por segundo
NBR	Norma Brasileira
N/mm <sup>3</sup>	Newton por Milímetro Cúbico
PR	Paraná
UCS	Universidade de Caxias do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\sigma_{ult}$	Máxima Tensão de Tração
$\sigma_{ult}/\gamma$	Máxima Tensão de Tração pelo Peso Específico
$\gamma$	Peso Específico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	DIRETRIZES DE PESQUISA .....	18
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivo principal.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.3</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.4</b>	<b>Hipótese de pesquisa.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.5</b>	<b>Delimitações .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.6</b>	<b>Limitações .....</b>	<b>19</b>
1.2	DELINEAMENTO DA PESQUISA .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>21</b>
2.1	CONCRETO ARMADO NAS CONSTRUÇÕES .....	21
2.2	ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	22
2.3	ARMADURA CONVENCIONAL .....	23
2.4	ARMADURA DE ORIGEM VEGETAL.....	25
<b>2.4.1</b>	<b>Características anatômicas do bambu.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Características químicas do bambu.....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Características físicas do bambu.....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Características mecânicas do bambu.....</b>	<b>36</b>
2.4.4.1	Compressão paralela às fibras .....	37
2.4.4.2	Tração paralela às fibras .....	38
2.4.4.3	Flexão estática .....	39
2.4.4.4	Aderência bambu-concreto.....	40
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>42</b>
3.1	MATERIAIS .....	45
<b>3.1.1</b>	<b>Concreto .....</b>	<b>45</b>
3.1.1.1	Determinação da massa específica do cimento .....	46
3.1.1.2	Índice de finura do cimento .....	46
3.1.1.3	Resistência à compressão do cimento .....	46
3.1.1.4	Ensaio de abatimento do tronco de cone do concreto .....	46
3.1.1.5	Moldagem dos corpos de prova de concreto e ensaio de compressão.....	47
3.1.1.6	Granulometria dos agregados miúdo e graúdo .....	47
3.1.1.7	Massa unitária dos agregados miúdo e graúdo.....	47
3.1.1.8	Massa específica do agregado miúdo .....	48

3.1.1.9	Massa específica do agregado graúdo .....	48
<b>3.1.2</b>	<b>Tratamento superficial.....</b>	<b>48</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Aço .....</b>	<b>48</b>
3.2	MÉTODOS.....	48
<b>3.2.1</b>	<b>Compressão paralela às fibras.....</b>	<b>50</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Flexão estática .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Cisalhamento.....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Tração paralela às fibras .....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.5</b>	<b>Teor de umidade .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Densidade .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.7</b>	<b>Determinação da tensão de aderência entre o bambu e o concreto .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.8</b>	<b>Dimensionamento à flexão para as vigas armadas com bambu.....</b>	<b>61</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>66</b>
4.1	RESULTADO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS .....	66
4.2	RESULTADO DO ENSAIO DE FLEXÃO.....	67
4.3	RESULTADOS DO ENSAIO CISALHAMENTO.....	67
4.4	RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS.....	68
4.5	RESULTADOS DO ENSAIO DE TEOR DE UMIDADE.....	68
4.6	RESULTADOS DE ADERÊNCIA .....	70
4.7	RESULTADOS DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	73
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os fabricantes de materiais utilizados na construção civil vêm utilizando indiscriminadamente os recursos naturais disponíveis em nosso planeta. Os materiais como aço muito utilizado em estruturas de concreto armado entre outros usos demandam alto consumo de energia, poluem o meio ambiente e mobilizam amplos recursos financeiros para sua fabricação. Atualmente, a população mundial tem enfrentado desafios para o uso dos recursos naturais de forma sustentável. Pesquisadores têm estudado novas maneiras de se fabricar, utilizar e reciclar materiais da construção civil e os materiais ecológicos, como o bambu, planta milenar, mantém o ambiente saudável, reduzem a poluição e consomem baixa energia, sendo este uma alternativa sustentável (RIAÑO et al., 2002).

Ghavami (2004) observou que muitos pesquisadores têm estudado o bambu, pois ele pode ser utilizado em lajes, pilares e até mesmo em vigas. O bambu é um material que usa a energia solar, absorve gás carbônico e tem facilidade de crescer rapidamente após a poda, além de possuir espécies que se destacam por possuírem ótimas propriedades de engenharia. (GHAVAMI, 2017).

O Brasil possui grande potencial em disseminar o plantio e o uso do bambu, uma vez que todas as espécies trazidas de outros lugares do mundo adaptaram-se excelentemente bem devido ao seu comportamento e agem como se estivessem em seu país de origem (OLIVEIRA, 2006). Segundo Pereira e Beraldo (2008), atualmente no Brasil, por questões culturais, o uso do bambu é restrito recebendo um nome pejorativo: “a madeira dos pobres”. Os autores descrevem que na Ásia e em alguns países da América Latina como Colômbia, Costa Rica e Equador, o bambu é muito utilizado na construção civil, pois tem grande flexibilidade e é excelente material para construções que sofrem com abalos sísmicos.

Desta forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo principal de desenvolver uma análise técnica comparativa da utilização do bambu e do aço como armadura de tração em vigas isoladas bi-apoiadas de concreto armado, submetidas ao esforço de flexão e dimensionadas para o estado limite último e analisando a aderência entre estas materias. Com o intuito de contribuir para que num curto prazo de tempo, a população mundial possa utilizar, em maior escala, materiais ecológicos promovendo uma vida mais sustentável.

Lima et al. (2000), comenta que o bambu possui propriedades mecânicas compatíveis aos materiais convencionais utilizados estrutura de concreto armado. De acordo com Ghavami (1995), o bambu quando utilizado em vigas de concreto armado, absorve a água da mistura do concreto aumentando o volume e após secagem a ripa volta às suas dimensões originais, fazendo com que a aderência do concreto com o bambu seja prejudicada, sendo necessários maiores estudos sobre deste fenômeno entre os materiais.

## 1.1 DIRETRIZES DE PESQUISA

As diretrizes de pesquisa deste trabalho serão apresentadas nos itens descritos abaixo.

### 1.1.1 Questão de pesquisa

É possível utilizar o bambu como armadura tracionada em vigas isoladas bi-apoiadas de concreto?

### 1.1.2 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é analisar a viabilidade da utilização do bambu como armadura de tração em vigas isoladas bi-apoiadas de concreto, submetidas ao esforço de flexão.

### 1.1.3 Objetivos específicos

- a) caracterizar o bambu com relação ao teor de umidade, densidades e aos esforços de compressão, tração, flexão e cisalhamento;
- b) verificar como a aderência da armadura de bambu influencia na resistência à tração na flexão;
- c) verificar se as vigas armadas com bambu alcançam igual resistência se comparadas ao aço.

#### 1.1.4 Hipótese de pesquisa

A viga de concreto armado com bambu pode alcançar igual resistência quando tracionada na flexão considerando o estado limite último em comparação à viga de concreto armado com aço.

#### 1.1.5 Delimitações

- a) utilização de apenas uma espécie de bambu de um fornecedor;
- b) as vigas serão moldadas com um traço de concreto convencional;
- c) utilização de uma única condição de apoio: bi-apoiada;
- d) utilização de um único carregamento;
- e) as vigas utilizadas terão comprimento máximo de 50 cm.

#### 1.1.6 Limitações

Os ensaios realizados neste trabalho limitam-se aos equipamentos disponíveis nos laboratórios da Universidade de Caxias do Sul. Como outra limitação, tem-se a falta de normativa brasileira referente ao bambu como uso de armadura em vigas de concreto armado.

### 1.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O presente trabalho está dividido em 8 etapas fundamentais. A primeira etapa consiste em realizar o embasamento teórico por meio da **pesquisa bibliográfica** onde teve como finalidade obter conhecimento sobre o bambu, suas propriedades anatômicas, mecânicas e físicas bem como a aderência entre o bambu e o concreto. A pesquisa foi importante para a realização de um estudo sobre a utilização do bambu em vigas de concreto armado, para análise dos resultados bem como a **elaboração do programa experimental**.

A etapa da **caracterização** consiste em realizar ensaios nos laboratórios da Universidade de Caxias do Sul (UCS) para determinar as resistências dos materiais. Utilizou-se como referência a norma ISO 22157:2004, parte 1 e parte 2 para o bambu e especialmente os capítulos que abordam os procedimentos necessários para realização dos ensaios

laboratoriais. Em seguida foram **dimensionadas as vigas armadas com bambu e respectivamente com aço**. Posteriormente, mais precisamente após 28 dias foram realizados os **ensaios de flexão** na viga armada com bambu e na viga armada com aço e

A etapa da **análise comparativa** foi realizada através de vigas isoladas bi-apoiadas de concreto armado, submetidas ao esforço de tração na flexão e dimensionadas para o estado limite último. A etapa das **considerações finais** consiste em avaliar os resultados obtidos e verificar qual das vigas de concreto armado alcançou igual resistência quando tracionada considerando o estado limite último comparando os resultados com a influência da aderência dos materiais. No presente trabalho verificou-se a importância de maiores estudos sendo importante que em trabalhos futuros sejam realizadas análises no que se refere à tração do bambu tanto quanto normas atuais para obtenção de resultados da aderência.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONCRETO ARMADO NAS CONSTRUÇÕES

Quando o homem passou a usar a mistura de cimento, agregado e água nas construções percebeu que se os elementos misturados e curados não fossem submetidos a grandes vãos os mesmos resistiriam bem à compressão. Neste contexto, para melhorar o desempenho do concreto quanto à tração, para vencer vãos maiores, surgiu a ideia de inserir o aço no concreto formando uma estrutura de concreto armado (BOTELHO; FERRAZ, 2015).

A absorção dos esforços de tração e compressão se deve ao fato de que a aderência entre os dois materiais impede que as deformações provocadas pelo aço igualem-se as deformações provocadas pelo concreto. A combinação destes materiais impede o cisalhamento da estrutura que ocorreria em vigas, por exemplo (ARAÚJO, 2014). Ruschel (1974) comentou que a união entre o material concreto e o aço só é possível graças a três qualidades:

- a) o coeficiente de dilatação térmico quase idêntico para ambos os materiais;
- b) a “ação solidária” entre o concreto e a superfície das armaduras (aderência);
- c) a correta quantidade de cimento e adensamento proporcionando a ausência de oxidação das armaduras.

São inúmeras as vantagens e desvantagens do concreto armado em comparação a outros materiais utilizados na construção civil. Desvantagens como excesso de peso do empreendimento, baixa proteção térmica e difícil manejo do material para executar demolições ou reformas. As vantagens somam-se em ser um material que não necessita de manutenção ou conservação sendo resistente a agentes externos da natureza, moldável em todo tipo de forma, economia; resistência ao fogo e fácil execução de estruturas hiperestáticas (ARAÚJO, 2014).

A resistência do concreto é considerada a propriedade mais importante do concreto, mesmo que em situações práticas, características como impermeabilidade, durabilidade e estabilidade de volume também são de fato importantes. A relação entre as resistências à compressão e à tração do concreto esteja intimamente relacionada, porém não há uma

proporcionalidade direta, uma vez que, a relação entre as duas resistências depende do nível geral da resistência do concreto. Embora a uma taxa decrescente, conforme a resistência à tração,  $f_{ct}$ , aumenta, a resistência à compressão,  $f_c$ , também aumenta, a idade é um fator importante na relação devido ao período posterior à concretagem. Em aproximadamente um mês, a resistência à tração cresce lentamente em comparação ao concreto, de modo que a relação  $f_{ct}/f_{ck}$  diminui com o tempo (NEVILLE; BROOKS, 2013).

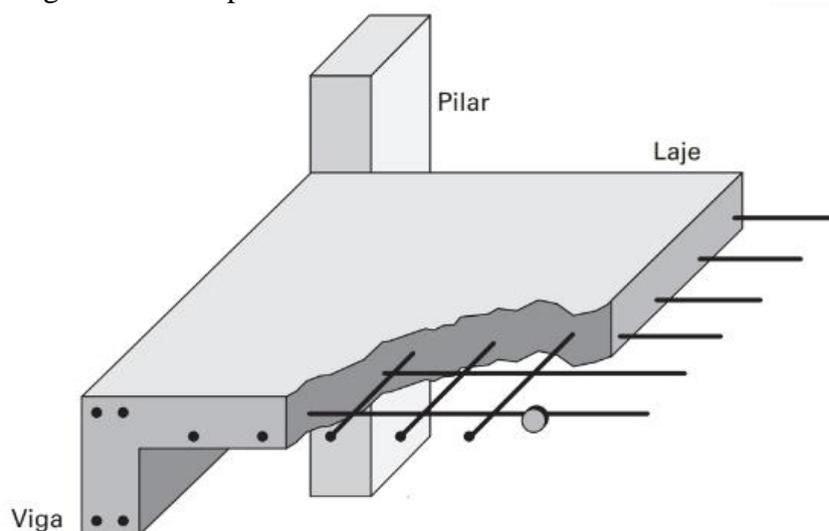
A resistência de aderência entre o concreto e a armadura de aço é prejudicada se houver aumento de temperatura. Temperaturas entre 200 e 300°C, provocam a perda de metade da resistência obtida em temperatura ambiente. A retração relativa ao aço também é um fator que pode deteriorar a aderência entre os materiais. A aderência se origina basicamente do atrito e da aderência entre o concreto e o aço. No caso de barras nervuradas a aderência origina do intertravamento mecânico (NEVILLE; BROOKS, 2013).

## 2.2 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Segundo a norma NBR 6118 (ABNT, 2014), para verificação dos estados limites últimos e de serviço se faz necessário determinar os efeitos das ações nas estruturas de concreto armado. A análise das estruturas tem como objetivo estabelecer as distribuições dos esforços internos, deslocamentos e deformações em toda a estrutura ou em alguns elementos estruturais. Os elementos estruturais são classificados conforme a sua função estrutural e sua geometria. As vigas são consideradas elementos estruturais onde a maior ação é a da flexão. Por serem elementos estruturais reticulados, as vigas devem ter três vezes o comprimento longitudinal em comparação a maior dimensão da seção transversal. Alguns elementos estruturais importantes: as lajes, os pilares e as vigas, conforme demonstrado na Figura 1.

De acordo com Piloto Neto (2018) as estruturas respeitam uma sequência de reações de apoio das estruturas. A laje transfere seu peso para a viga na qual está apoiada, onde é distribuída uma carga em uma área para uma carga linear sobre a viga. A viga transfere sua carga para o pilar, onde a carga que era linear da viga passa a ser uma carga pontual no pilar chegando até a fundação, responsável por transferir ao solo.

Figura 1 - Exemplo de elementos estruturais de concreto armado



Fonte: Adaptado de Botelho; Ferraz (2015)

Em vigas de concreto armado que são submetidas à flexão simples, as armaduras devem atender aos requisitos devido às forças cortantes e aos momentos fletores. As barras das armaduras controlam os esforços de tração devidos à flexão, estendendo-se a todo comprimento da viga (FUSCO, 2017).

Em suma, Piloto Neto (2018) explica que a viga poderá ser dimensionada depois de analisadas todas as cargas que atuam nela, inclusive seu peso próprio, podendo receber cargas distribuídas e aplicadas. Havendo o conhecimento das cargas e as dimensões das vigas são viáveis fazer a verificação da compatibilidade da capacidade da estrutura com a carga, distribuída uniformemente ou aplicada. Estimar as cargas é um ponto crítico do projeto estrutural necessitando de um projetista com sensibilidade de análise e criterioso na avaliação das cargas. Deve-se observar que:

- a) cargas elevadas: exigem peças mais reforçadas, aumentando o custo da obra;
- b) cargas abaixo das cargas reais aplicadas: levam a estrutura à ruptura.

### 2.3 ARMADURA CONVENCIONAL

O elemento para fim estrutural mais utilizado no mundo como armadura no concreto armado é o aço. Devido ao módulo de elasticidade do aço em comparação ao concreto, a sua utilização na parte comprimida do concreto acaba por economizar área de concreto, possibilitando que as estruturas atinjam maior esbeltez.

A norma NBR-7480 (ABNT, 2007) estabelece que as armaduras de aço para o concreto armado podem ser classificadas em grupos chamados de barras ou fios. O grupo de barras devem possuir diâmetros nominal de 6,3 mm ou superior, sendo obtidas por laminação a quente, sem ter sofrido posteriormente de deformação mecânica. O grupo dos fios apresenta diâmetro nominal de 10 mm ou inferior, estes obtidos por trefilação ou laminação a frio. Uma vez conhecidas as características mecânicas das barras e dos fios, estes são classificados por categorias: CA-25 e CA-50 para barras e os fios de aço categoria CA-60. Segundo Botelho e Ferraz (2015), os aços existentes no mercado são divididos em:

- a) tipo “A”: laminados a quente;
- b) tipo “B”: laminados a quente e depois encruados por meio de torção, compressão transversal (trefilação de fios por máquina).

De acordo com Souza e Ripper (1998), pode ocorrer deterioração das estruturas e dos materiais mesmo que haja manutenção regular dos empreendimentos. A corrosão é a deterioração do aço que pode comprometer a estrutura levando à sua ruptura por flexão. O processo corrosivo ocorre da sua periferia para o seu interior, permitindo que a patologia diminua a capacidade resistente da armadura por diminuição da área de aço. É importante dizer que pode haver também perda de aderência do concreto com as barras da armadura pelo assentamento. Quanto maior e mais espessa for a camada de concreto a estrutura apresenta uma fissuração por assentamento, pois o movimento natural do concreto é impedido de se acomodar com a presença de barras de aço.

Os aços, além da divisão em tipos A e B, são divididos em categorias CA25, CA50 e CA60 como apresentado no Quadro 1. As categorias são indicadas pelo código CA (aço para concreto armado) onde resultam dos seus teores de carbono e pelo número indicativo de tensão de escoamento ( $f_{yk}$ ). Mesmo possuindo várias categorias, os aços, tem o mesmo peso específico. Para todos os tipos e categorias de aço  $E_s = 2.100.000 \text{ kgf/cm}^2 = 210 \text{ GPa}$  (módulo de elasticidade) peso específico do aço =  $78,50 \text{ kN/m}^3$  (NBR 6118, ABNT, 2014).

Quadro 1 - Tipo de aços / características de uso

Tipo	Tensão de escoamento mínimo ou valor característico (kN/cm <sup>2</sup> )		Tensão para o qual ocorre a deformação de 0,2% (kN/cm <sup>2</sup> )	Tensão de cálculo	Características de uso
	CA25	25 kgf/mm <sup>2</sup>			
CA25A	CA25	25 kgf/mm <sup>2</sup>	21,5	21,5	Para pequenas obras - fácil de dobrar
CA50A	CA50	50 kgf/mm <sup>2</sup>	42	43,5	É o aço mais comum
CA60B	CA60	60 kgf/mm <sup>2</sup>	40	52,2	Muito usado em pré-moldados

Fonte: Adaptado da NBR7480 (2007)

A durabilidade dos materiais é um ponto importante para o bom funcionamento das estruturas. O risco de corrosão do aço na região de flexão depende essencialmente das características do concreto, da espessura e da qualidade do concreto de cobrimento. A norma prevê que o cobrimento mínimo deve ser garantido pelo projeto considerando cobrimento nominal. O cobrimento nominal é o cobrimento mínimo acionando a tolerância de execução igual a 10 mm conforme Quadro 2 (NBR 6118, ABNT, 2014).

Quadro 2 - Cobrimento nominal

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga-/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50

Fonte: NBR 6118 (2014)

## 2.4 ARMADURA DE ORIGEM VEGETAL

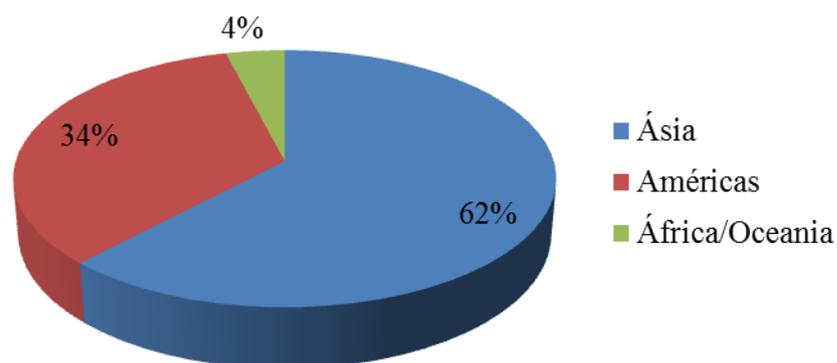
O aumento do desmatamento, a pressão exercida sobre as florestas tropicais e até mesmo sobre as áreas de reflorestamento tem se tornado imprescindível à busca por materiais renováveis. Estamos em constante evolução, mas ainda necessitamos de soluções e alternativas capazes de atenuar os estragos realizados pelas atividades humanas (PEREIRA; BERARDO, 2008).

O Bambu é uma planta tropical que cresce rapidamente mais do que qualquer planta do Planeta, seu broto atinge sua altura máxima de até 30 m de 3 a 6 meses, para espécies

consideradas gigantes, e mesmo sendo um material de origem vegetal possui admirável vitalidade, leveza, versatilidade e resistência (FARRELY, 1984). Segundo o autor, o bambu tem facilidade em ser trabalhado com ferramentas simples, natural ou após ser processado proporcionando um papel importante, maior que qualquer planta, na evolução humana.

Os bambus pertencem a família *Graminae* e subfamília *Bambusoideae*, algumas vezes tratados separadamente como pertencentes à família *Bambusaceae*. Conforme demonstrado na Figura 2, existem no Mundo aproximadamente 50 gêneros e 1300 espécies, que se distribuem naturalmente em todos os continentes, exceto na Europa, onde 62% das espécies nativas são da Ásia, 34% das Américas e 4% da África e da Oceania (LOPEZ, 2003).

Figura 2 - Presença de bambus nos continentes



Fonte: Lopez (2003)

Dentre as espécies introduzidas no Brasil destacam-se os bambus dos gêneros *Bambusa* (algumas espécies: bambos, *blumeana*, *multiplex*, *tulda*, *ventricosa*), *Gigantochloa*, *Guadua*, *Phillostachys* (algumas espécies: *aurea*, *purpuratta*, *nigra*), *Dendrocalamus* (algumas espécies: *giganteous*, *asper*, *latiflorus*), onde os dois últimos gêneros possuem espécies propícias para uso em construções (FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2004). Algumas espécies são recomendadas pelo IMBAR - INTERNATIONAL BAMBOO AND RATTAN ORGANISATION, para uso estrutural em construções e suas características principais são apresentadas resumidamente na Tabela 1.

Tabela 1- Características de algumas espécies de bambu

<b>Gêneros</b>	<b><i>Bambusa Bambos</i></b>	<b><i>Bambusa Blumeana</i></b>	<b><i>Dendrocalamus Asper</i></b>
Descrição	Bambu entoucerante de médio porte	Bambu entoucerante de médio porte	Bambu gigante entoucerante de grande porte
Altura dos Colmos (m)	15 a 25	15 a 20	20 a 30
Diâmetro dos colmos (cm)	10 a 15	6 a 10	8 a 20
Espessura da parede (cm)	1 a 1,5	1 a 1,5	1 a 2
Internós (cm)	20 a 35	20 a 35	20 a 45
Solo	Ricos ou pobres preferencialmente ácidos	Ricos ou pobres	Ricos com altitudes de até 1000m
Temperatura mínima (°C)	-2	-7	-5
Usos mais comuns	Construção, laminado de bambu, barreira de vento	Construção, indústria moveleira	Construção pesada, alimentação, instrumentos musicais

Fonte: INBAR (1999)

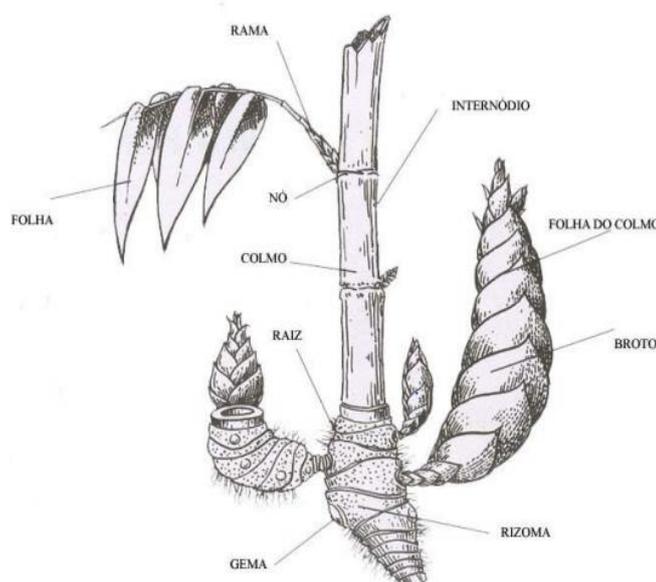
Muito se têm estudado as qualidades dos bambus. Resultado de experimentos obtidos sobre os bambus nas últimas décadas, em várias partes no mundo, vem permitindo criar normas para tal utilização. O conhecimento das normas é importante para divulgação do material, não somente no Brasil como em outros países, garantindo que o uso em estruturas tenha segurança satisfatória. O *International Network for Bamboo and Rattan* (INBAR, 1999) utilizou as pesquisas e resultados mundiais e propôs normas onde os profissionais da área pudessem utilizar para determinar as propriedades físicas e mecânicas dos bambus.

De acordo com Librelotto e Ostapiv (2019), os bambus são gramíneas gigantes e os principais órgãos vegetativos são: raízes; rizomas; colmos; galhos dos colmos; folhas; totões ou gemas germinativas e brotos, conforme demonstrado na Figura 3. Ainda segundo o autor, o uso dos colmos na arquitetura e na construção civil é um segmento que tem crescido cada vez mais e muitas espécies exóticas de grande potencial econômico foram introduzidas no território nacional. Os principais bambus exóticos de interesse econômico introduzidos no Brasil são:

- a) *Dendrocalamus asper* (entoucerante);

- b) *Phyllostachys áurea* (alastrante);
- c) *Bambusa Vulgaris* (entoucerante);
- d) *Bambusa Tuloides* (entoucerante);
- e) *Bambusa vulgaris* variedade *vittata* (entoucerante);
- f) *Phyllostachys pubescens* (alastrante);
- g) *Guadua angustifolia* (semi alastrante, nativo na região norte do Brasil).

Figura 3 - Principais órgãos vegetativos dos bambus



Fonte: SPOLIDORO (2008)

O Bambu gigante, *Dendrocalamus Asper*, é um bambu entoucerante com colmos de grande porte. Os colmos maduros e mais velhos têm coloração variada e os mais jovens podem apresentar tonalidades entre o marrom escuro e verde brilhantes, os mais velhos têm bainhas e apresentam penugens. Em moitas nutridas adequadamente os colmos podem chegar a 30 m de altura com diâmetro na base de até 25 cm de espessura e parede de 4 cm na base. Aproximadamente 250 touceiras da espécie citada anteriormente passaram por um experimento no município de Dois Vizinhos - PR, e os estudos indicaram que a espécie tem uma boa capacidade de regeneração após rigorosos invernos como o ocorrido no ano de 2016 na região. O *D. asper*, desenvolve-se bem em dias de sol e em solos profundos, apesar de tolerar temperaturas de até -5°C porém se submetidos a geada o bambu sofre especialmente se a touceira é jovem e está em fase de crescimento (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

### 2.4.1 Características anatômicas do bambu

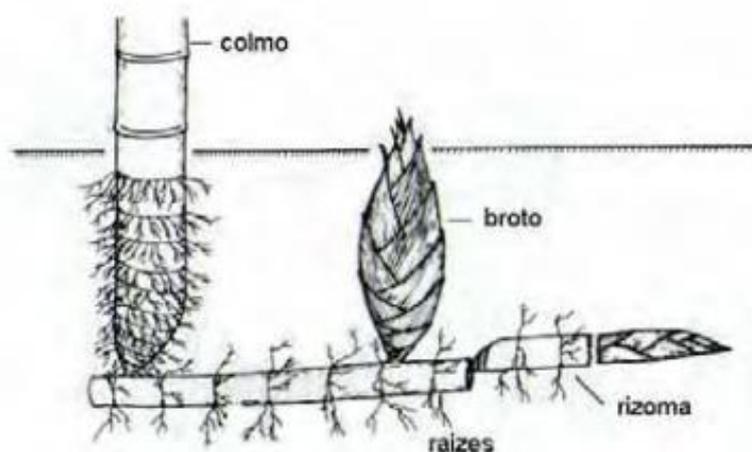
O processo que leva até a maturação do bambu proporciona que as células permaneçam ativas até o final da vida útil do colmo, que se situa em torno de 6-8 anos dependendo da espécie. O bambu emerge já com o seu diâmetro definitivo, ocorrendo maturação internamente (BERALDO; CARBONARI, 2019).

O bambu adquire sua maior resistência entre 3 a 6 anos reduzindo a medida que o colmo vai secando, sendo apropriado para o corte as idades entre 2 a 6 anos dependendo da aplicação final e da espécie desejada (LOPEZ, 1974). Ainda segundo o pesquisador, a melhor época no Brasil para corte é entre maio e agosto onde neste período o país se encontra no outono, época de seca, onde os insetos e pragas estão em hibernação ou em um nível populacional baixo.

Conforme Pereira e Beraldo (2008), o rizoma tem papel fundamental no desenvolvimento do bambu. O seu potencial em armazenar os nutrientes para posterior distribuição age como um órgão responsável pela propagação da planta. Desta maneira Beraldo (2008), diferencia os bambus em dois tipos de ramificação do rizoma:

- a) grupo alastrante ou leptomorfo: de acordo com a Figura 4, também conhecido como monopodial este rizoma pertencentes aos gêneros *Arundinaria* e *Phyllostachys*, pode crescer entre 1 a 6 m por ano que pode atingir 50 a 100 mil metros lineares por hectare.

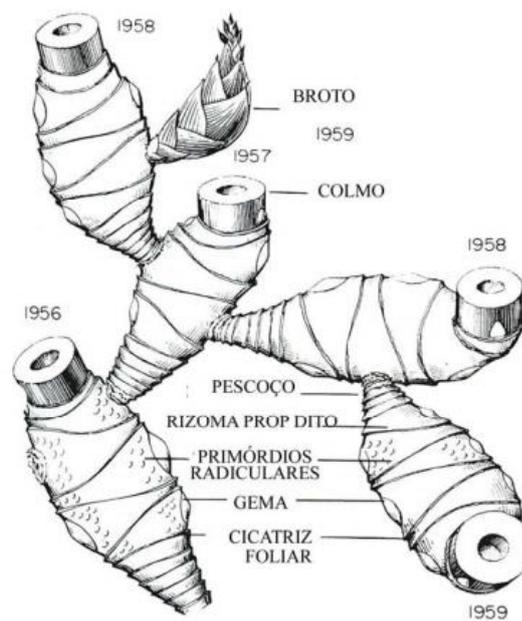
Figura 4 - Rizoma do tipo leptomorfo ou alastrante



Fonte: LIESE (1985)

- b) grupo entoucerante ou paquimorfo: também conhecido como simpodial os rizomas deste grupo pertencente aos gêneros *Bambusa*, *Guadua*, *Dendrocalaus* e *Gigantochloa*, possuem gemas laterais que desenvolvem novos rizomas, curtos grossos, sólidos e com internós assimétricos conforme demonstrado na Figura 4. Os colmos crescem horizontalmente em curtas distancias, seu ápice volta-se para cima formando um novo colmo até que estes acarretem em uma touceira de 30 a 100 colmos.

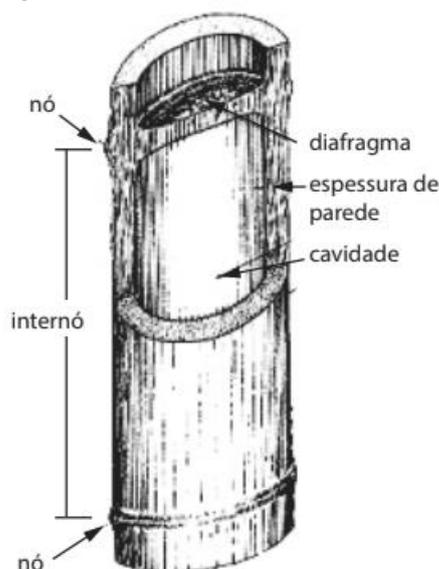
Figura 5 - Rizoma do tipo paquimorfo ou entoucerante



Fonte: SPOLIDORO (2008)

Liese (1985) comenta que as propriedades de um colmo são determinadas por sua estrutura anatômica, conforme demonstrado na Figura 6. Nos internós as células são orientadas axialmente, paralelas ao eixo de crescimento do colmo, e na região dos nós aparecem interconexões transversais. Ainda segundo o autor, a parte externa é constituída de células epidermais cobertas por uma camada cutinizada e cera, já na região interna ocorre uma camada espessa altamente ligada constituída de numerosas células esclerenquimáticas (feixes de fibras), passados diretamente de um internós para outro, principais responsáveis pela resistência mecânica dos colmos.

Figura 6 - Seção de um colmo e suas denominações



Fonte: GHAVAMI, BARBOSA, MOREIRA (2017)

Os colmos diferem-se em altura, espessura de parede, forma de crescimento e mesmo diâmetro que terá por toda a sua vida, podendo atingir alturas de 30 m a 30 cm de diâmetro como ocorre nas espécies gigantes de gênero *Dendrocalamus* (PEREIRA; BERALDO, 2008). Os pesquisadores explicam que os colmos de bambus mesmo que originários da mesma touceira, espécie ou mesma idade, podem apresentar diferenças significativas na dimensão dos seus elementos anatômicos. Assim como em partes mais altas dos colmos é possível obter alto teor de fibras com comprimento médio de 1,65 mm a 3,43 mm, medidas intermediárias se comparadas ao eucalipto com 1 mm de comprimento médio e a madeira de pinus com comprimento médio de 3 mm a 4 mm.

De fato existem milhares de espécies de bambus e sua distribuição anatômica não apresenta larga variação. A espécie *Dendrocalamus Asper*, bambu de clima tropical, apresenta três componentes anatômicos principais. O bambu da espécie citada foi submetida a análise conforme procedimentos descritos por Beraldo e Carbonari (2019). Na Figura 7, uma imagem macroscópica apresenta uma região escura correspondente aos feixes de fibras, que protegem os vasos. Os feixes de fibras encontram-se ligeiramente afastados acima ou abaixo dos vasos, em grupos de três e um deles com diâmetro menor constituindo o protoxilema. Os feixes de fibras e os vasos são envolvidos em um tecido de células parenquimáticas de cor amarelada (BERALDO; CARBONARI, 2019).

Figura 7 - Imagem macroscópica do bambu *Dendrocalamus Asper*

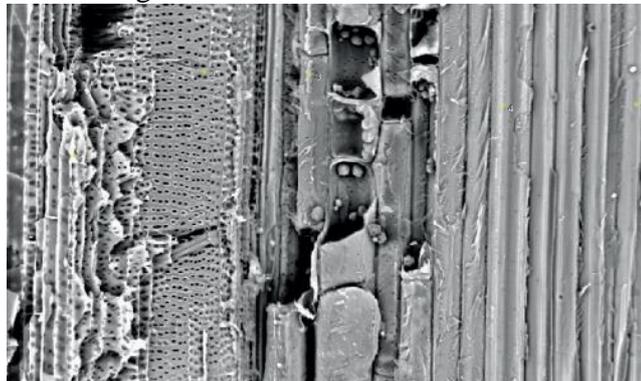


Fonte: BERLADO; CARBONARI (2019)

As células parenquimáticas possuem grânulos de amido, responsável pelo desenvolvimento de novos colmos, e também pelo ataque de insetos como a broca-do-bambu (*Dinoderus minutus*) e do tigre-do-bambu (*Chlorophorus annularis*). Há de se destacar que os bambus muito jovens e bambus muito velhos não armazenam o amido, sendo eles os menos atacados pelos insetos (BERLADO; CARBONARI, 2019).

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) permite conhecer os elementos anatômicos, destacando suas dimensões. O corte longitudinal de uma amostra de bambu demonstra na lateral esquerda um vaso, com suas paredes totalmente perfuradas. Na parte central da Figura 8, pode-se observar as células parenquimáticas na forma de pequenas “gavetas”. Na lateral direita da Figura 8, observam-se as fibras localizadas de forma paralela ao alinhamento dos vasos.

Figura 8 - Imagem MEV do bambu *Dendrocalamus Asper*



Fonte: BERLADO; CARBONARI (2019)

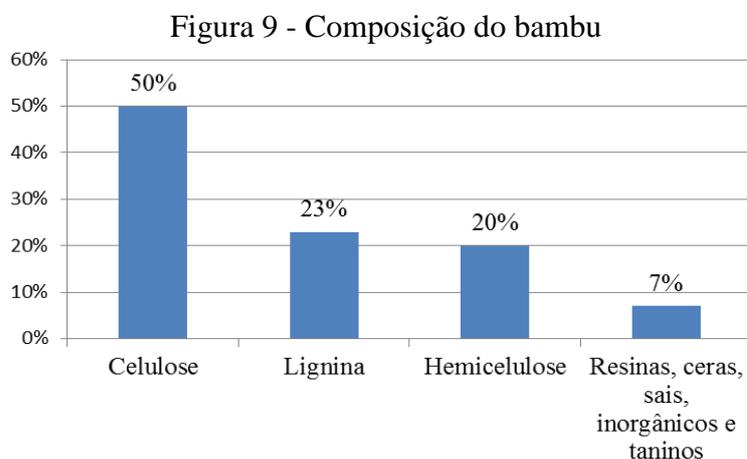
A durabilidade do bambu é prejudicada pela presença de amido e seguramente apresentará maior durabilidade, quando aplicado ao colmo, o tratamento adequado. A eliminação de contato do colmo diretamente com o solo deve ser descartado (PEREIRA; BERALDO, 2008). De acordo com Azzini e Beraldo (2001), para tratar colmos de bambus existem métodos tradicionais e químicos, subdividimos em:

- a) métodos tradicionais: maturação ou cura no local da colheita, cura por fogo, fumaça ou imersão;
- b) métodos químicos: imersão em solução de sais hidrossolúveis, substituição de seiva por sais hidrossolúveis, hidrossolúveis, oleossolúveis, oleosos.

Assim sendo, Pereira e Beraldo (2008) destacam que os métodos existentes para efetuar os tratamentos preventivos dos materiais fibrosos foram desenvolvidos para tratar madeiras como o *Eucalyptus*, muito utilizados na construção civil. Portanto, se faz necessário um cuidado quanto a secagem ou tratamento dos colmos de bambu, pois o amido pode reduzir a vida útil não ultrapassando três anos quando exposto à fungos e insetos.

#### 2.4.2 Características químicas do bambu

Liese (1998) explica que a composição química do bambu varia de acordo com a espécie, idade, região do colmo (base, centro e topo) e as condições de crescimento que os principais constituintes químicos do bambu são os carboidratos. Segundo o autor, o bambu é formado por carboidratos, celulose, hemicelulose, lignina e também em pequenas quantidades, resinas, ceras, sais inorgânicos e taninos, demonstrado na Figura 9.



Fonte: Adaptado de BERALDO; CARBONARI (2019)

A proporção de carboidratos e de lignina permanece constante após um período de um ano, ou seja, varia durante a sua maturação (PEREIRA; BERALDO, 2008). Os autores comentaram que um dos principais componentes químicos do bambu é o amido presente em seu tecido parenquimatoso e sua quantidade varia com a espécie, a época do ano e a idade dos colmos. Devido ao fato de não haver equipamentos específicos para o correto processamento do bambu, a sílica presente nas camadas mais externas dos tecidos, protege o colmo contra a agressão dos insetos, porém é responsável pelo desgaste excessivo das ferramentas (serra, plaina, lixadeira), durante a usinagem do bambu (BERALDO; CARBONARI, 2019).

### **2.4.3 Características físicas do bambu**

As principais propriedades físicas do bambu são: teor de umidade, densidade e estabilidade dimensional (retração e inchamento) (BERALDO; CARBONARI, 2019). Segundo os autores, dependendo da aplicação desejada é possível ser avaliados o isolamento térmico e comportamento acústico do bambu natural ou processado.

Entre as diferentes espécies de bambu, há uma variação no seu teor de umidade, sendo influenciada pela época do corte e a idade do colmo. Os colmos mais jovens apresentam maior teor de umidade do que os colmos maduros; colmos verdes apresentam umidade de 40 a 150 %. Nos colmos maduros a umidade é mais elevada na base e diminui ao longo do comprimento até o topo. Os nós apresentam teor de umidade menor que nos internós e ao longo da parede do colmo a umidade é maior internamente e diminui em direção a casca (LOPEZ, 2003). O autor comentou que o ponto de saturação das fibras dos bambus cortados e analisados está compreendido entre 13 a 20% conforme a espécie.

A casca do bambu é praticamente impermeável e tem um revestimento de um tipo de cera, já nas camadas subseqüentes, os vasos e as células parenquimáticas tem grande capacidade de absorver umidade, ou seja, são altamente higroscópicas (BERALDO; CARBONARI, 2019). Para que o colmo atinja umidade de 10 a 15%, após o corte do colmo, torna-se necessário a secagem ao ar livre em um período de até 4 meses. A secagem se torna imprescindível para reduzir a massa do colmo, melhorando suas propriedades mecânicas (BERALDO et al., 2003).

Segundo Janssen (2000), o teor de umidade do colmo influencia diretamente nas propriedades mecânicas do bambu, propriedades estas que dependem também da densidade

do colmo assim como o teor de fibras dos colmos da espécie utilizada. O autor comentou que a propriedade física que tem maior influência nas propriedades físicas e mecânicas do bambu, é a massa específica aparente que varia com a espécie e local.

Para Beraldo e Carbonari (2019), a massa específica aparente é a razão entre a massa de um material e o volume que ele ocupa. Além da umidade a densidade depende também da posição do colmo o qual a amostra foi retirada aumentando da base para o topo. Em experimentos realizados a densidade varia em relação à posição radial (do centro em direção à casca) indo de 0,4 g/cm<sup>3</sup> até 1,1 g/cm<sup>3</sup>.

A massa específica aparente dos bambus varia entre 500 kg/m<sup>3</sup> a 800 kg/m<sup>3</sup>, dependendo essencialmente do tamanho do colmo, da quantidade e distribuição dos feixes de fibras ao redor dos vasos. Existem diferenças de densidade entre a parede externa e interna do colmo havendo um aumento de massa da parte interna para a externa. Ao longo do colmo a densidade aumenta da base para o topo e a região nodal é mais densa do que as demais regiões conforme Tabela 2 (LIESE, 1998).

Tabela 2 - Valores médios de massa específica aparente em ripas de bambu

<b>Massa específica aparente</b>				
<b>Parte do colmo</b>	<b>Sem nó</b>		<b>Com nó</b>	
	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Umidade (%)</b>
Base	0,76	11,4	0,82	11,4
Meio	0,84	11,5	0,91	11,6
Topo	0,84	11,7	0,9	11,7
Média do colmo	0,81	11,5	0,88	11,6

Fonte: PEREIRA; BERALDO (2008)

Beraldo e Carbonari (2019) explicam que no momento do corte do colmo a umidade é relativamente alta, no entanto, após o corte a perda de umidade é relativamente lenta de modo que a secagem pode levar alguns meses. O fenômeno de retração ocorre quando o bambu libera a umidade que estava saturando seus elementos anatômicos, diminuindo a umidade e simultaneamente diminuindo as dimensões e a massa específica do colmo. Ainda segundo os autores, o bambu muitas vezes empregado em sua forma roliça, assume dois tipos de variação dimensional, são elas axial de valor desprezível e diametral com uma média de 5 %. São três as direções anatômicas a serem consideradas:

- a) transversal tangencial: paralela a casca;
- b) transversal radial: do centro à casca;
- c) longitudinal axial : na direção da altura do colmo.

#### **2.4.4 Características mecânicas do bambu**

De imediato o que diferencia o bambu de outros materiais vegetais estruturais é sua alta produtividade (MOREIRA; GHAVAMI, 1995). Ainda segundo os autores, dois anos e meio após ter brotado, o bambu apresenta resistência mecânica estrutural maior que qualquer vegetal, devido a sua forma tubular acabada, estruturalmente estável, uma geometria circular oca, baixa densidade e suas características são favoráveis em termos da razão resistência mecânica/massa específica do material.

Muitos pesquisadores comentam a diferença da resistência mecânica em várias partes dos colmos (LOPEZ, 2003). O pesquisador ressalta que alguns itens não podem ser ignorados em um projeto com bambu:

- a) resistência nos internós: o centro do internó possui maior resistência, as fibras deste local são longas e próximo aos nós as fibras são curtas;
- b) resistência nos nós: a densidade é mais elevada devido a ocorrência de menor quantidade de tecido parenquimatoso, porém, devido aos desvios dos feixes das fibras e descontinuidade do colmo sua resistência a flexão, compressão, cisalhamento e tração são menores;
- c) resistência no colmo: por ter maior quantidade de fibras na parte interna das paredes sua resistência à tração e compressão é maior da parte interna para a externa. As propriedades mecânicas do colmo inteiro variam ao longo de seu comprimento. Na região apical (parte superior do colmo) é mais resistente a flexão e compressão em relação às regiões intermediárias e basal (base do colmo).

A anatomia do bambu está fortemente correlacionada com sua resistência mecânica. O módulo de ruptura ou tensão (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) estão

correlacionados com o comprimento das fibras (LIESE, 1987). Em bambus de mesma espécie pode ocorrer variação na sua resistência, quando comparada ao aço.

O bambu acontece o contrário, o desvio padrão é maior, pois o bambu é capaz de absorver muita energia por possuir capacidade de deformação, aliviando as tensões existentes antes da ruptura (JANSSEN, 2000). Ghavami et al. (2017) comentaram que para uma única espécie, o módulo de elasticidade à tração é maior do que o módulo à compressão. O módulo de elasticidade varia entre as diferentes espécies de 8 GPa e 25 GPa.

#### 2.4.4.1 Compressão paralela às fibras

De acordo com a norma ISO 22157 (2004), para determinar as propriedades físicas e mecânicas dos bambus à mesma está dividida em duas partes: Parte I- fornece requisitos básicos para determinar as propriedades do bambu como material de construção. Na Parte II - constituída por um manual de laboratório, fornece requisitos para testes laboratoriais.

Segundo a ISO 22157 (2004), Parte II, para os testes de compressão paralela às fibras pode-se obter a carga, a tensão máxima ( $\sigma_{ult}$ ) em MPa (ou N/mm<sup>2</sup>) para o rompimento do corpo de prova (CP), além do módulo de elasticidade nominal (E) em MPa. Independente da geometria e tamanho, peças sujeitas à compressão, a análise não pode se restringir baseada apenas no limite de resistência do material. É importante levar em conta a possibilidade de flambagem devido a esbeltez do elemento estrutural.

Tabela 3 - Resistência à compressão paralela as fibras em MPa obtida por diferentes autores

<b>Região do colmo</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>
Base sem nó	68,5	72,6
Base com nó	59,1	71,4
Meio sem nó	70,8	78,8
Meio com nó	65,4	72,7
Topo sem nó	71,5	96,8
Topo com nó	65,6	75,5
Média	66,8	78
Desvio padrão das médias	4,55	9,6
Coefficiente de variação	6,81%	12,32%

Fonte: Adaptado de GHAVAMI et. al (2017)

De acordo com Pereira e Beraldo (2008), corpos de prova (CP), de seção retangular podem ser extraídos de bambus que possuam paredes espessas como o *Dendrocalamus*

*giganteous*. Para obtenção das amostras recomenda-se a escolha da região do interno do colmo, visando eliminar o efeito causado pela presença dos nós, claramente observado na Tabela 3.

#### 2.4.4.2 Tração paralela às fibras

Com os ensaios de tração paralela às fibras, a norma ISO 22157 (2004), Parte II, possibilita obter a carga máxima (Fult) em N e a máxima tensão de tração ( $\sigma_{ult}$ ) em MPa. As amostras devem ser coletadas das partes basais, medianas e topo do colmo de bambu. As regiões das peças testadas devem possuir um comprimento de 50 mm a 100 mm além de uma seção retangular, com dimensões próximas a espessura da parede do bambu na direção radial, e de 10 mm a 20 mm na direção tangencial.

Segundo Ghavami e Howbeck (1981), a resistência a tração do bambu não depende da região do colmo onde foi tirada a amostragem, mas depende da presença de nós. A resistência à tração paralela às fibras das amostras reduz consideravelmente, pois no ponto dos nós ocorre uma concentração de tensões onde os feixes de fibras sofrem um desvio lateral provocando pontos de menor resistência conforme detalhado na Tabela 4.

Tabela 4 - Resistência à tração paralela às fibras em MPa obtida por diferentes autores

<b>Região do colmo</b>	<b>CP1</b>	<b>CP2</b>	<b>CP3</b>
Base com nó	103	109	107
Meio com nó	118	170	144
Topo com nó	114	119	114
Média	111,7	132,7	121,7
Desvio padrão das médias	7,77	32,72	19,66
Coefficiente de variação	6,96%	24,66%	16,16%
Base sem nó	240	159	147
Meio sem nó	250	224	188
Topo sem nó	247	147	158
Média	245,7	176,7	164,3
Desvio padrão das médias	5,13	41,43	21,22
Coefficiente de variação	2,09%	23,45%	12,91%

Fonte: GHAVAMI et al. (2017)

Algumas espécies podem atingir uma resistência a tração de até 370 MPa, tornando o uso do bambu atrativo e um ótimo substituo ao aço, principalmente quando considerado a

razão R entre a resistência a tração e o seu peso específico ( $\sigma_{ult}/\gamma$ ), 2,34 vezes mais do que o aço CA50. Em geral a resistência a tração do bambu com ou sem nós apresenta valores de 40 MPa a 215 MPa, e seu módulo de elasticidade varia entre 5,5 GPa e 18 GPa (PEREIRA; BERALDO, 2008) de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Razão entre a tensão de tração e o peso específico de alguns materiais

<b>Tipo de material</b>	<b>Resistência à tração <math>\sigma_{ult}</math> (MPa)</b>	<b>Peso específico <math>\gamma</math> (N/mm<sup>3</sup> x (1/10))</b>	<b>R= (<math>\sigma_{ult}/\gamma</math>) x 10<sup>1</sup></b>	<b>R R aço</b>
Aço CA 50	500	7,83	0,64	1
Alumínio	300	2,79	1,07	1,67
Ferro Fundido	280	7,7	0,39	0,61
Bambu	120	0,8	1,5	2,34

Fonte: PEREIRA; BERALDO (2008)

Em CPs sem nós ocorre rompimento fibra a fibra mostrando maior ductilidade, o que não ocorre em regiões internas do colmo onde o rompimento é abrupto. As regiões frágeis como em nós e regiões interna do colmo por apresentarem menor quantidade de fibras consequentemente apresentam menor resistência à tração (BERALDO; CARBONARI, 2019).

#### 2.4.4.3 Flexão estática

Beraldo et al. (2003) comentaram que à flexão do bambu é muito importante para a análise estrutural e estabelecer este tipo de resistência. De acordo com a norma ISO 22157 (2004), Parte II, é possível testar peças de bambus à flexão. Os ensaios fornecem a capacidade de resistência dos colmos à flexão ( $\sigma_{ult}$ ) em MPa (ou N/mm<sup>2</sup>), testando quatro pontos, o módulo de elasticidade à flexão (E) em MPa e a curva da carga (F) em N x deflexão vertical ( $\delta$ ) em mm. Deve-se observar com este ensaio as rachaduras e a forma como o corpo de prova (CP) rompeu.

Em vários trabalhos experimentais estão sendo desenvolvidos métodos para determinar a resistência à flexão do bambu e resultados divulgados por vários pesquisadores situam entre uma resistência entre 30 a 170 MPa (PEREIRA; BERALDO, 2008). Pereira (2003) apresentou resultados de módulo de elasticidade à flexão e resistência a partir de corpos de prova de seção retangular, com nó e sem nós, com alturas diferentes da base, meio e topo, paredes com espessura mínima de 8 mm, retirados da região próximas a casca, com

idades de 3,5 anos. A espécie utilizada *Dendrocalamus giganteus* foi cultivada na UNESP/Bauru.

A presença do nó nos colmos diminui consideravelmente a resistência à flexão, a tração das ripas de bambu. De maneira muito menos acentuada o módulo de elasticidade também é afetado, porém nos ensaios de compressão, os corpos de prova apresentam mais resistência provando que não foram tão afetados.

#### 2.4.4.4 Aderência bambu-concreto

Mesquita et al. (2005) explica que muitos pesquisadores têm estudado a baixa aderência e mesmo com tantos trabalhos, as metodologias experimentais utilizadas para melhorar a aderência do bambu e o concreto, consistiam na aplicação de pinturas na superfície do bambu com resinas impermeabilizantes. No entanto, a maioria das resinas estudadas tem baixa resistência ao cisalhamento motivo pelo qual os experimentos foram mais satisfatórios nos corpos de prova que não continham nenhum tratamento superficial. Ainda, segundo o autor, existem resinas que não prejudicam a resistência mecânica e física do bambu, porém estes materiais tem custo elevado tornando inviável a utilização do bambu em estruturas de concreto armado.

Conforme Ghavami (1995), o bambu revestido superficialmente com uma camada de negrolin, em ensaios de absorção, submerso por 96 horas em água potável apresentou apenas 4 % de absorção da água. Já em vigas com armaduras de ripas de bambu, tratadas com duas camadas superficiais de negrolin apresentou um aumento no valor da aderência entre os materiais de utilizados quantidades de areia fina depois de aplicado a segunda camada do impermeabilizante.

Segundo Melges (2012) o bambu é um material higroscópico e orgânico apresentando grande variação de resistência quando adicionado ao concreto pois o bambu absorve a água do mesmo podendo provocar fissuras após o período de cura. Sendo assim, foram estudados vários tipos de tratamento de impermeabilização superficial para verificar a qualidade da aderência entre os materiais de modo a poder considerá-lo como um elemento que possa substituir parcialmente ou integralmente a armadura no elemento estrutural de concreto armado. Melges (2012) quantificou a tensão de aderência entre o concreto e o bambu da espécie *Bambusa Vulgaris* por meio de ensaio de arrancamento. Verificou-se ao fim do

experimento que o tratamento apresentou vantagens, pois efetivamente impermeabilizou o bambu, aumento a aderência entre os materiais e eliminou possíveis escorregamentos da armadura de bambu.

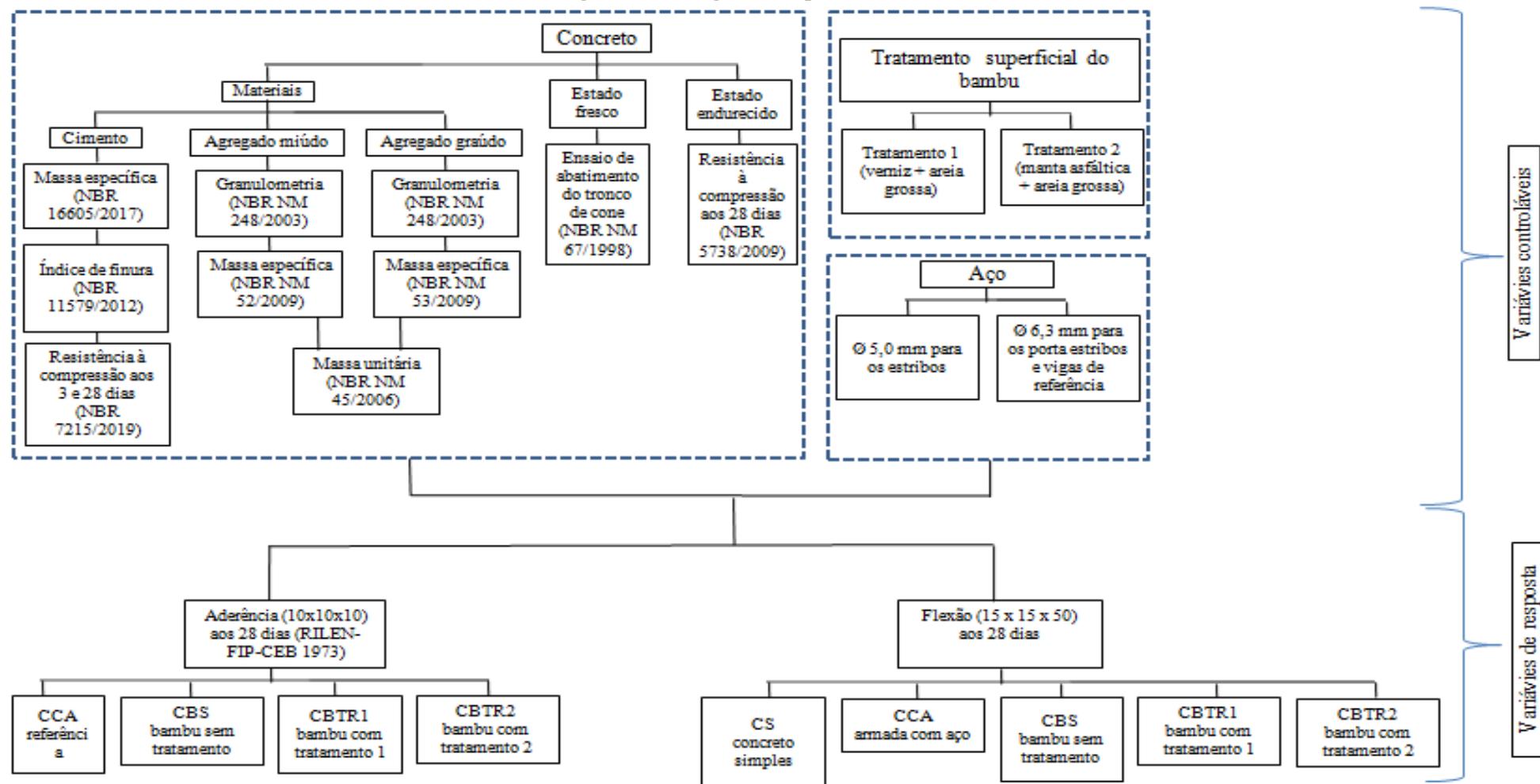
### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentadas a metodologia e os materiais para posterior análise da aderência entre o bambu e concreto e, também, o dimensionamento de 10 vigas bi-apoiadas. O Capítulo está dividido em duas partes onde os materiais foram caracterizados, ou seja, todos os componentes do concreto bem como no seu estado fresco e endurecido.

Já nos ensaios realizados para o bambu se deu uma maior atenção tendo em vista que o ensaio da tração teve que ter várias análises de corpos de prova pois o maquinário esmagava as extremidades sem permitir coletar os dados da área útil. No subitem métodos serão analisados os corpos de prova para o ensaio de aderência entre os materiais que foram submetidos ao esforço de tração.

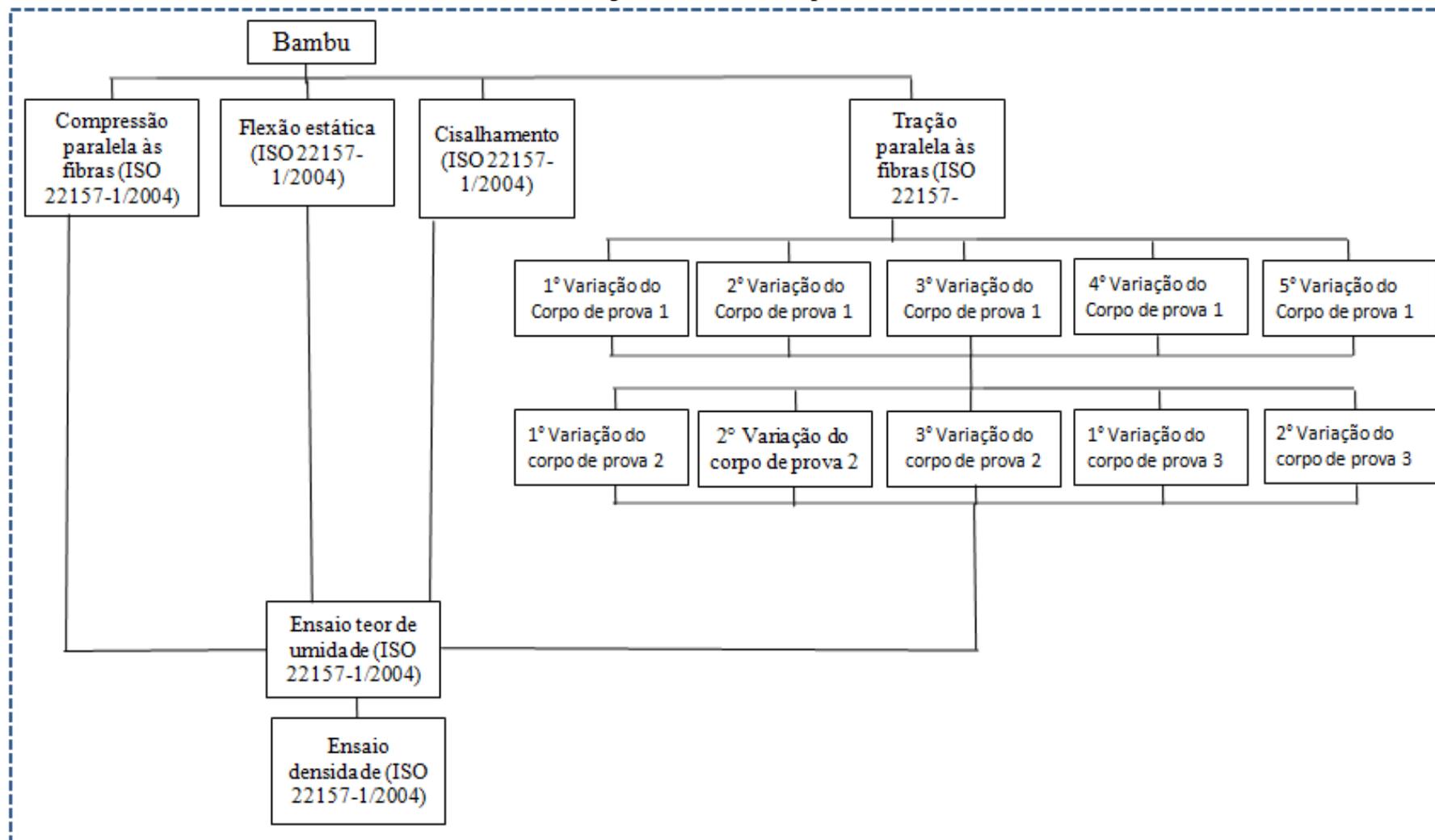
As vigas serão submetidas ao ensaio de flexão na tração onde fornecerão dados para comparação de resultados. Serão apresentados os tratamentos superficiais aplicados em todas as taliscas utilizadas no ensaio da aderência e nas vigas. Para realização deste trabalho as atividades serão respeitadas conforme as referidas normas, como se pode ver no fluxograma apresentado nas Figuras 10 e 11. Inicialmente na Figura 10 é apresentado o programa experimental e em seguida o estudo exploratório acerca do bambu demonstrado na Figura 11.

Figura 10 - Programa experimental



Fonte: autora (2019)

Figura 11 - Estudo exploratório



Fonte: autora (2019)

### 3.1 MATERIAIS

Inicialmente, com o objetivo de empregar armaduras de bambu em substituição ao aço em vigas de concreto armado, a proposta deste trabalho é caracterizar a espécie de bambu *Dendrocalamus Asper* por meio de ensaios de compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento e flexão. Os ensaios são necessários para determinar parâmetros mecânicos confiáveis a fim de trazer qualidade e durabilidade as estruturas dimensionadas com bambu.

Aproximadamente  $\frac{3}{4}$  do volume do concreto são ocupados pelos agregados, portanto é de suma importância que os agregados passem por análise em laboratório comprovando qualidade para então serem incorporados ao concreto. Os agregados exercem influência não apenas na resistência mecânica da peça dimensionada, também, em seu desempenho estrutural e durabilidade. Pode-se obter a qualidade dos materiais ensaiando e analisando as propriedades físicas desses grãos, tais como granulometria, massa específica, massa unitária e inchamento.

O concreto deve ter uma boa distribuição granulométrica a fim de preencher todos os vazios, pois a porosidade por sua vez tem influência na permeabilidade e na resistência das estruturas de concreto, para tanto, serão realizados os testes para a dosagem correta do concreto, ensaios no estado fresco, teste de abatimento do concreto, ensaio de massa específica e de resistência mecânica do concreto. A resistência mecânica do concreto é importante, pois é ela quem determina se a estrutura resiste aos diferentes esforços que são submetidos ao longo de sua vida útil.

#### 3.1.1 Concreto

O concreto utilizado para confecção das vigas bi-apoiadas, tem como traço 1:2,64:3,06 (cimento:areia:brita). O traço a ser empregado foi escolhido pois é um traço usual do laboratório da Instituição. O concreto foi ensaiado no seu estado fresco e endurecido por meio de caracterização dos materiais como o aglomerante e os respectivos agregados.

### 3.1.1.1 Determinação da massa específica do cimento

O ensaio foi realizado conforme prevê a norma NBR 16605 (ABNT, 2017). Através do ensaio realizado chegou-se que o valor da massa específica média do cimento CPV-ARI é de 3,28 g/cm<sup>3</sup>. O valor encontrado é um valor coerente quando comparado com a literatura e ensaios realizados pelo fabricante.

### 3.1.1.2 Índice de finura do cimento

O ensaio foi realizado conforme prevê a norma NBR 11579 (ABNT, 2012). O resultado do índice de finura é satisfatório apresentando um valor de 0%. A amostra retida na peneira não apresentou massa suficiente para ser medida na requerida balança e este fato comprova que o cimento CPV-ARI é um material novo mantendo a qualidade e eficiência quando for utilizado para os demais ensaios.

### 3.1.1.3 Resistência à compressão do cimento

Para a realização do ensaio de resistência à compressão do cimento, foram coletadas as respectivas quantidades de água, areia e cimento a fim de moldar posteriormente 4 corpos de prova cilíndricos com 55 mm de diâmetro e 100 mm de altura, de acordo com a norma NBR 7215 (ABNT, 2019). No primeiro dia os corpos de prova que tinham uma área de 1963 mm<sup>2</sup> alcançaram uma tensão de ruptura média de 7,54 MPa e uma carga de ruptura de 1510 Kgf. Conforme a norma descreve outro ensaio foi realizado aos 3 e aos 7 dias da moldagem dos corpos de prova e então foi efetuado o rompimento por compressão dos últimos corpos de prova. Aos 7 dias os corpos de prova que tinham uma área de 1963 mm<sup>2</sup> alcançaram uma tensão de ruptura média de 34,83 MPa aumentando sua resistência consideravelmente ao longo do tempo.

### 3.1.1.4 Ensaio de abatimento do tronco de cone do concreto

A NBR NM 67 (ABNT, 1998) especifica que o ensaio de abatimento de tronco de cone, realizado em laboratório, é o método capaz de determinar a consistência do concreto fresco através da medida de assentamento. A altura corresponde a altura média do CP desmoldado, aproximando aos 5 mm mais próximos. Finalizando o ensaio chegou-se em um

resultado satisfatório e compatível com a norma. O valor encontrado para o ensaio foi de 140 mm.

#### 3.1.1.5 Moldagem dos corpos de prova de concreto e ensaio de compressão

Utilizando a norma NBR 5738 (ABNT, 2016), foi possível notar no ensaio que aos 28 dias os corpos de prova alcançaram uma tensão de ruptura média de 29,52 MPa. Os valores obtidos comprovam que o traço usado aumentou a resistência ao longo do tempo até o seu rompimento.

#### 3.1.1.6 Granulometria dos agregados miúdo e graúdo

O ensaio para determinação da granulometria dos agregados foi realizado conforme a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). A dimensão máxima característica do agregado graúdo foi 9,5 (imediatamente ou inferior a 5% do retido acumulado). Já o módulo de finura apresentou um valor médio de 5,435.

Para determinação da granulometria do agregado miúdo, utilizando-se nas mesmas normativas. A dimensão máxima característica do agregado graúdo foi 0,6 (imediatamente ou inferior a 5% do retido acumulado). Já o módulo de finura apresentou um valor médio de 1,27. A curva granulométrica do agregado miúdo pode ser observada na Figura 13, respectivamente. O agregado miúdo utilizado não se manteve entre a zona utilizável ou ótima, um motivo pelo qual a areia tem uma graduação contínua, tem uma concentração maior ou menor de alguma fração do agregado ficando fora das respectivas zonas.

#### 3.1.1.7 Massa unitária dos agregados miúdo e graúdo

Os ensaios para determinação da massa específica foram realizados conforme prevê a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006). A massa unitária média do agregado miúdo manteve-se em 1416 kg/m<sup>3</sup> enquanto o agregado graúdo alcançou um valor médio de 1411 kg/m<sup>3</sup>. A partir da massa unitária podemos estimar o quantitativo de materiais e segundo a norma a mesma tem grande importância na tecnologia, pois é por meio dela que podemos transformar a composição das argamassas e concretos oferecendo segurança às construções.

### 3.1.1.8 Massa específica do agregado miúdo

Para o ensaio de determinação de massa específica e massa específica aparente é necessário utilizar os métodos da norma NBR NM 52 (ABNT, 2009). Inicialmente a amostra foi preparada de acordo com a NBR NM 30 (ABNT, 2001). A massa específica da areia teve um valor médio de 2,45 g/cm<sup>3</sup>. Comparando os resultados com a literatura existente os valores obtidos neste ensaio são aceitáveis para utilização na confecção da argamassa da viga armada com bambu.

### 3.1.1.9 Massa específica do agregado graúdo

Para o ensaio de determinação da massa específica, massa específica aparente e absorções de água foi utilizado os métodos descritos na norma NBR NM 53 (ABNT, 2009). A massa específica da brita teve um valor médio de 2,69 g/cm<sup>3</sup>. Já absorção de água nos mostrou um resultado médio de 2,69 %. Comparando os resultados com a literatura existente os valores obtidos neste ensaio são aceitáveis para utilização na confecção da argamassa da viga armada com bambu.

## 3.1.2 Tratamento superficial

Os tratamentos superficiais utilizados para blindagem do bambu serão verniz próprio para madeira, manta asfáltica e areia grossa. Serão aplicados uma cada apenas do verniz e da manta e, por conseguinte, a areia grossa disponível no laboratório da instituição.

## 3.1.3 Aço

O aço que será utilizado como armadura longitudinal na região de flexão da viga será o aço CA-50 uma vez que possui tensão de escoamento nominal ( $f_y$ ) de 500 MPa com diâmetro nominal (DN) de 6,3 mm. Na região tracionada serão colocados estribos com aço CA-60 com DN de 5 mm atendendo a NBR 7480 (2007).

## 3.2 MÉTODOS

Inicialmente neste capítulo serão mostrados os ensaios realizados para caracterização do bambu e também todos os protótipos para a realização do ensaio de tração deste material. Os colmos dos bambus que foram utilizados como armadura nas vigas biapoiadas deste

trabalho pertencem à espécie *Dendrocalamus Asper*, demonstrados na Figura 12, plantados na fazenda Giganteous localizada em Vigia situado no interior da cidade de São Sebastião do Caí, Estado do Rio Grande do Sul. Conforme descrito na norma ISO 22157 (2004), Parte I, os bambus selecionados para realização dos ensaios foram abatidos de acordo com as boas práticas locais, com aproximadamente quatro anos de idade, sadios e livres de qualquer defeito.

Imediatamente após o corte dos colmos iniciou-se o processo de expulsão ou diminuição do amido e seiva que acabam deixando o bambu suscetível ao ataque de brocas, cupins e fungos. Nesta etapa os colmos são colocados no sentido vertical expostos ao ar porem longe do sol. Passados três dias, os colmos são imersos em uma solução preservativa em um tanque com água parada e um sal a base de boro por uma semana. Logo após a passagem pelo tanque os colmos voltam a ficar no sentido vertical para secagem final por mais três dias.

Figura 12 - Fazenda Giganteous (a) touceira com 15 anos e (b) touceira com 6 anos



Fonte: autora (2019)

Conforme demonstrado na Figura 13, para finalizar a secagem ao ar livre os colmos são colocados em um galpão coberto com excelente passagem do ar. A umidade nos colmos de bambu após um mês de secagem é praticamente mínimo, sendo um método eficaz de secagem, pois este método lento faz com que o bambu atinja maior resistência e evita as fissuras.

Figura 13 - Local de secagem (a) material disponível e (b) material utilizado neste trabalho



Fonte: autora (2019)

Para não ocorrer mudanças significativas nas propriedades de resistência dos colmos, os corpos de prova devem ser ensaiados em uma faixa de temperatura de  $27^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa entre  $70 \pm 5\%$ . Segundo a ISO 22157 (2004), Parte I, mesmo que aparentemente o bambu tenha aspecto seco depois de alguns processos, os colmos dos bambus devem ser submetidos ao ensaio de umidade.

Após a caracterização do bambu foram realizados ensaios de aderência ao concreto e também aos esforços de tração na flexão das vigas. Para o desenvolvimento deste trabalho foram confeccionadas 10 vigas para ensaios de flexão e 8 corpos de prova para o ensaio de arrancamento (aderência). As vigas foram subdivididas em 5 duplas, onde 2 vigas foram confeccionadas com concreto simples (CS), 2 vigas em concreto armado (CCA), 2 vigas foram confeccionadas com concreto e taliscas de bambu sem tratamento (CBS), 2 vigas foram confeccionadas com concreto e taliscas de bambu com tratamento 1 (CBTR1) e 2 vigas foram confeccionadas com concreto e taliscas de bambu com tratamento 2 (CBTR2). Para os ensaios de aderência foram feitas 2 corpos de prova com aço (CCA), 2 corpos de prova com bambu sem tratamento (CBS), 2 corpos de prova com tratamento superficial 1 (CBTR1) e 2 corpos de prova com tratamento superficial 2 (CBTR2) como demonstra-se nos próximos subitens.

### 3.2.1 Compressão paralela às fibras

O princípio deste ensaio é medir a compressão paralelamente às fibras do colmo de bambu. Com este ensaio foi possível determinar o esforço de compressão final do corpo de

prova e o módulo de elasticidade. A ISO 22157 (2004), Parte I, determina que os corpos de prova devam ser extraídos da parte basal, meio e topo do colmo.

Para este ensaio não foi possível captar os corpos de prova do meio basal e apical. Os colmos fornecidos já haviam sido cortados e tratados em tanque para retirada do amido e seiva, portanto o fornecedor informou que os colmos obtidos para os ensaios pertenciam ao meio dos colmos.

Conforme demonstrado na Figura 14, os corpos de prova foram colocados de modo que o centro da cabeça móvel fique verticalmente acima do centro da seção transversal da amostra e uma carga pequena não superior a 1 kN foi inicialmente aplicada. A carga foi aplicada continuamente durante o ensaio viajando a uma taxa constante de 0,01 mm/s.

Figura 14 - Ensaio de compressão paralela às fibras



Fonte: autora (2019)

O ensaio de compressão foi realizado em uma máquina que possui um rolamento hemisférico em uma de suas placas de modo a obter uma distribuição uniforme das cargas aplicadas. Segundo a norma ISO 22157 (2004), Parte II, os ensaios de compressão são prescritos apenas para as regiões dos internós, pois estas regiões são mais simples que os nós. Não há diferença significativa entre os resultados de ensaios de compressão de nós e entrenós (há uma pequena diferença já que é menor que o desvio padrão).

O comprimento da amostra é igual ao diâmetro externo e assim como citado no parágrafo anterior, o ensaio de compressão foi realizado em amostras sem nós. As extremidades dos corpos de prova estavam perfeitamente planas com as placas das máquinas, com um desvio máximo de 2 mm.

### 3.2.2 Flexão estática

O princípio deste ensaio é determinar a capacidade de curvatura dos colmos utilizando o ensaio de flexão conforme mostrado na Figura 15. Foi determinada também através do ensaio realizado em uma máquina universal de ensaios (EMIC), a curva de carga versus a deflexão vertical e o respectivo módulo de elasticidade.

Figura 15 - Detalhe do corpo de prova de flexão



Fonte: autora (2019)

O dispositivo foi capaz de dobrar o colmo, aplicando uma carga intermediária aos centros os quais o dispositivo suporta. O colmo foi colocado em seu lugar permitindo que encontrasse sua própria posição sem girar ao longo do ensaio. A carga foi aplicada de modo uniforme com velocidade constante. A velocidade do ensaio rodou a 0,5 mm/s de tal forma como prescreve a norma.

A flexão descrita na ISO 22157 (2004), Parte I e Parte II, referem-se apenas aos colmos sem defeitos e para obter resultados melhores o vão livre no dispositivo deve ter  $30 \times D$ , em que  $D$  é o diâmetro externo. O comprimento total do colmo deve ser o vão livre mais, em cada extremidade, um meio comprimento do interior.

Depois que o colmo encontrar sua posição é necessário marcar o lado o lado superior com um lápis ou caneta para controlar, após o rompimento, que lado o colmo ficou durante o teste. A deflexão por cisalhamento pode ser negligenciada no caso de ensaios de flexão em colmos de bambu. A influência da deflexão é inferior a 5% e até muito menos.

### 3.2.3 Cisalhamento

Para o teste de cisalhamento foram coletados dados para determinar a maior tensão e a maior carga necessária para romper as peças ensaiadas. O ensaio de cisalhamento deve ser paralelo às fibras e os corpos de prova totalizaram o mínimo prescrito pela norma: 12 corpos de prova para cada ensaio.

O ensaio de cisalhamento é realizado de forma análoga ao ensaio de compressão e não há necessidade de uma camada intermediária entre o corpo de prova e o apoio. A norma ISO 22157 (2004), Parte I, explica que o ensaio de cisalhamento deve realizado na máquina de compressão. A amostra foi apoiada na extremidade inferior por um triângulo em aço. Na parte superior o triangulo foi rotacionado a 90°, formando então 4 planos paralelos às fibras. As extremidades estavam planas com os triângulos de aço.

Figura 16 - Ensaio de cisalhamento paralela as fibras



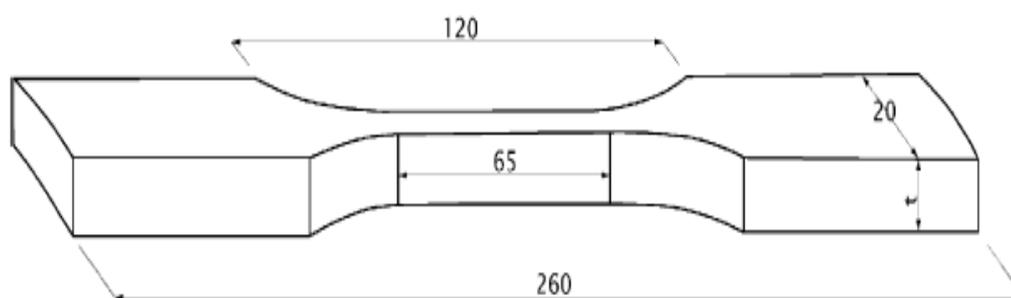
Fonte: autora (2019)

O comprimento da amostra foi cortado de acordo com o determinado pela norma, ou seja, igual ao diâmetro externo  $D$  e a espessura da parede  $t$  e altura  $L$  foram medidas em todas as quatro áreas do cisalhamento, conforme Figura 16. O corpo de prova foi colocado na máquina de forma que o centro da amostra ficou verticalmente alinhado com o centro do prato da máquina. Uma pequena carga de 1 kN foi aplicada para estabilizar o corpo de prova. A carga permaneceu aplicada continuamente para que a cabeça móvel viajasse a uma taxa constante de 0,01 mm/s.

### 3.2.4 Tração paralela às fibras

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração paralela às fibras baseando-se na ISO 22157 (2004), Parte I. Inicialmente foram realizados ensaios com corpos de prova sugeridos pela ISO 22157 (2004), Parte II em uma máquina universal de ensaios (EMIC). Conforme Figura 17 os modelos ensaiados respeitavam a espessura da parede do colmo, mantendo assim a composição tanto da casca do colmo assim como as fibras das paredes internas do bambu.

Figura 17 - Corpo de prova sugerido pela ISO 22157 (2004) Parte II



Fonte: autora (2019)

Devido a alta resistência das fibras na área útil dos corpos de prova, ocorreu por cisalhamento, a deformação dos mesmos não sendo possível obter resultados satisfatórios. Percebeu-se que se diminuir a área de atrito da máquina com as extremidades poderíamos obter resultados satisfatórios, sendo assim, algumas variações ocorreram a partir do primeiro corpo de prova, como podemos verificar na Figura 18. A segunda tentativa foi arredondar as bordas. A terceira tentativa consistia em diminuir a espessura, mas mantendo as bordas retas como no primeiro corpo de prova, a quarta tentativa foi arredondar as bordas do terceiro corpo de prova, a quinta tentativa foi diminuir a largura da terceira variação, porém em nenhuma das últimas alternativas obtive-se resultados satisfatórios. Em todos os casos as

extremidades foram esmagadas pelas garras da máquina e não houve deslocamento na área útil do corpo de prova.

Figura 18 - Corpos de prova (a) antes do ensaio e (b) depois do ensaio



Fonte: autora (2019)

Beraldo e Carbonari (2019) adaptaram o corpo de prova para o ensaio de tração para garantir que a área da seção transversal na região do estrangulamento fosse constante e assim evitando anomalias durante o ensaio. Na Figura 19 pode-se observar o sexto modelo de corpo de prova usinado para este ensaio tendo como base os estudos mencionados anteriormente. Mesmo alterando as medidas como largura e espessura do corpo de prova, o ensaio não foi satisfatório pois as garras da máquina ainda assim romperam os modelos por cisalhamento, fora da área útil.

Figura 19 - Corpos de prova (a) antes do ensaio e (b) depois do ensaio



Fonte: autora (2019)

Após a sexta tentativa arredondou-se as partes onde fazem canto com a área útil deixando toda a extremidade do corpo de prova no formato oval, e também a partir da 6ª variação diminuiu-se a área útil no intuito de diminuir o tempo de contato com as garras da máquina. Ambos os modelos não romperam na área útil, mantendo o ensaio de tração sem resultados satisfatórios. Por meio da Figura 20 pode-se perceber que mais uma tentativa foi realizada, o nono corpo de prova deste estudo.

Figura 20 - Corpos de prova (a) detalhe do dispositivo antes do ensaio e (b) depois do ensaio



Fonte: autora (2019)

Com o intuito de proteger a área onde ocorre a atrito das garras do maquinário com a peça ensaiada, foi construído um dispositivo que poderia proteger as extremidades dos corpos de prova e aumentar o atrito para não haver o escorregamento do corpo de prova de dentro do dispositivo metálico. O nono teste não teve sucesso. O maquinário deslocou o dispositivo ocorrendo o esmagamento das extremidades e mantendo o sistema ineficiente para este ensaio. Abaixo na Figura 21 podemos perceber qual foi o corpo de prova que demonstrou potencial para realização deste ensaio.

Figura 21 - Corpo de prova cilíndrico



Fonte: autora (2019)

### 3.2.5 Teor de umidade

O princípio deste ensaio é determinar, por pesagem, a perda de massa do corpo de prova durante a secagem até a massa constante. Foram utilizados os seguintes equipamentos: balança de precisão de 0,01 g e forno capaz de levar os colmos a um estado absolutamente seco.

A norma ISO 22157 (2004), Parte I, prevê que para determinação da umidade os CPs devem ser preparados imediatamente após cada ensaio mecânico. O número de CPs foram iguais ao número de CPs utilizados nos ensaios físicos ou mecânicos. Os corpos de prova foram pesados com uma precisão de 0,01 g e secos em um forno com variação de temperatura de  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Após 24 horas a massa foi registrada em intervalos de não menos que 2 horas.

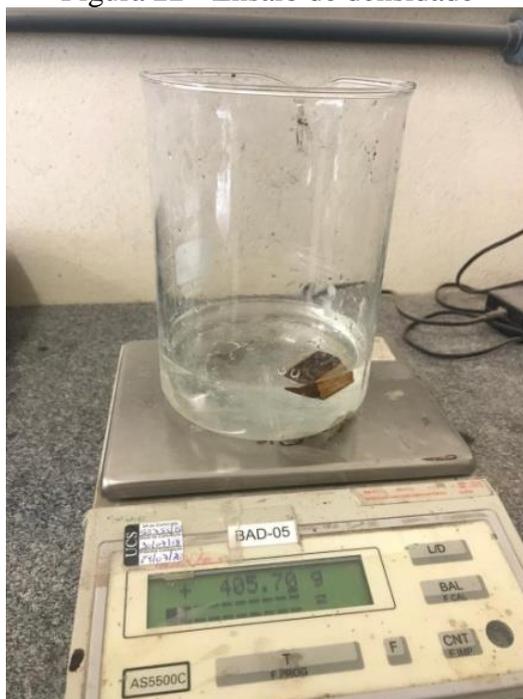
O encolhimento foi observado com um diâmetro externo D e na espessura da parede no comprimento L. Marcações foram feitas na amostra para facilitar a observação nos mesmos lugares do colmo. Em cada corpo de prova são medidos 4 diâmetros, 4 espessuras de parede (duas em cada extremidade) e dois comprimentos. As dimensões foram tomadas e registradas regularmente até que estas permanecessem constantes. A secagem só foi completa quando a diferença entre as determinações sucessivas da massa não excederam 0,01 g.

### 3.2.6 Densidade

Os corpos de prova para determinação da densidade foram preparados previamente conforme o item 3.1.1.1 para verificação da massa após a secagem em forno. O princípio deste ensaio é determinar a densidade do corpo de prova após imersão em água. Para um ensaio eficiente foi imprescindível determinar a massa seca como no item 3.1.1.1.

O volume do corpo de prova é apenas o volume retirado da amostra utilizando um instrumento de medição, capaz de determinar as dimensões com precisão de 0,1 mm. O volume do corpo de prova após imersão não foi possível ser medido em um medidor de volume de mercúrio conforme demonstra a Figura 22, pois os corpos de prova flutuaram, não sendo possível realizar o ensaio.

Figura 22 - Ensaio de densidade



Fonte: autora (2019)

A norma ISO 22157 (2004), Parte II, descreve um procedimento eficiente para imersão de um interno portanto todas as amostras foram retiradas desta região, próximas ao local onde houve a ruptura do corpo de prova. Primeiramente foi necessário determinar a massa,  $m$ , em g. Em seguida coletou-se o peso indicado na balança quando o corpo de prova estava submerso em água à temperatura ambiente. Após imergir o corpo de prova por alguns segundos na água não foi possível coletar o peso pois os corpos de prova de bambu, flutuavam.

### 3.2.7 Determinação da tensão de aderência entre o bambu e o concreto

Para avaliação da aderência nesta pesquisa, amostras de bambu que pertencem à espécie *Dendrocalamus Asper* com aproximadamente quatro anos de idade, sadios e livres de qualquer defeito permitiram que fosse possível avaliar a resistência de aderência à tração utilizando como referência a RILEM (1973, apud DAROLT, 2016). O aço utilizado como referência neste ensaio foi o CA50  $\varnothing$  6.3 mm. O aço utilizado foi escolhido, pois é o aço com uma área de contato próxima ao do bambu.

Inicialmente foram confeccionadas 8 caixas de 10 x 10 x 10 cm, após foi feita a mistura do concreto. As caixas foram preenchidas até um terço do volume do cubo e então foram colocadas as barras de aço e também todas as taliscas de bambu, sem tratamento, com

tratamento 1 e o tratamento 2. Em seguida, preencheu-se o cubo com o concreto, mantendo as barras de aço e as taliscas no centro dos corpos de prova. Dentre os 8 corpos de prova 2 são com barras aço, 2 com taliscas de bambu sem tratamento superficial, 2 com tratamento superficial à base de verniz e areia grossa e 2 com tratamento superficial à base de manta asfáltica e areia grossa. Conforme pode-se ver na Figura 23.

Figura 23 - Concretagem dos corpos de prova para o ensaio de aderência



Fonte: autora (2019)

O tempo de cura para este ensaio conforme a recomendação da NBR 5739 (ABNT, 2018) é de vinte e oito dias após a concretagem dos corpos de prova. Para a aderência conforme a RILEM (1973 apud DAROLT, 2016) o objetivo deste ensaio é determinar a resistência à tração da interface concreto-bambu, de tal forma que se obtém o deslocamento a cada acréscimo de carga aplicada no bambu que estava no concreto endurecido. Para auxiliar a execução do ensaio foi usinado um dispositivo conforme a Figura 24.

Figura 24 - Dispositivo metálico para auxiliar no ensaio de aderência



Fonte: autora (2019)

Os corpos de prova foram submetidos á tração por uma máquina específica, chamada EMIC DL 1000, presos à um dispositivo metálico. A extremidade superior da máquina é presa ao bambu e a extremidade inferior da máquina é presa ao dispositivo auxiliando para que os corpos de prova não escorregassem na máquina, demonstrado na Figura 25.

Figura 25 - Corpo de prova no dispositivo metálico no momento do ensaio



Fonte: autora (2019)

Como pode-se perceber na figura 25 o dispositivo é fixado na garra inferior e o bambu na garra superior. Assim, pode-se determinar qual a resistência à aderência entre os materiais bambu e concreto. A carga aplicada seguiu os mesmos padrões tanto para os bambus quanto para o aço. Para determinar a resistência de aderência é necessário calcular pela seguinte fórmula (1):

$$\tau_{bm} = \frac{F_{arr}}{u \cdot lb} \quad (1)$$

Onde:

***F<sub>arr</sub>*** = É a força em (N);

***u*** = É o perímetro de contato em (cm);

***lb*** = É o comprimento da barra em contato com o concreto (cm).

Todos os oito corpos de prova foram fixados no dispositivo metálico que suportou a força exercida pela máquina onde realizou-se o ensaio. A força aplicada, com uma velocidade de 10mm/min, foi medida do início ao fim do escorregamento até o momento que a força fica nula ou se em algum momento este corpo de prova venha a romper. Quando não houver mais o deslocamento acaba o ensaio, mede-se a carga e calcula-se a tensão de aderência.

### 3.2.8 Dimensionamento à flexão para as vigas armadas com bambu

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram confeccionadas 10 vigas de concreto, sendo que duas vigas apenas com concreto, duas vigas armadas com aço CA50 Ø 6.3 mm, armadura equivalente à área de bambu, duas delas com bambu sem tratamento, duas delas com bambu tratado com verniz e areia grossa e duas armadas com bambu tratado com manta asfáltica e areia grossa. Todas as vigas tinham uma dimensão de 15 cm de largura, 15 cm de altura e 50 cm de comprimento. A resistência à compressão do concreto utilizado foi de 25 MPa e para as vigas armadas foi utilizado estribos a cada 13 cm de aço CA50 Ø 5 mm.

Previamente foi realizado o dimensionamento conforme o estudo publicado por Oliveira e Vito (2012). Os cálculos foram realizados de forma que as vigas atuassem no limite do domínio de deformação 2/3, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014) e todos os coeficientes de ponderação foram desconsiderados para que os resultados deste estudo pudessem ser comparados. Através da área encontrada do aço CA50 Ø 6.3 mm, foi possível obter a área equivalente em bambu e dando a possibilidade de ser feito um comparativo de resultados da flexão na tração na flexão entre as vigas armadas com aço e as vigas armadas com bambu. Para dar início ao processo de cálculo foi necessário encontrar o momento fletor de cálculo, através da equação (2), considerando o limite da linha neutra ( $x$ ) especificado pela NBR 6118 (ABNT, 2014) no caso do domínio de deformação 2/3:

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$\text{limite } 2/3$$

$$x = 0,259 \cdot d = 2,59 \text{ cm} \quad (2)$$

$$Md = 0,68 \cdot f_{ck} \cdot b_w \cdot x \cdot (d - 0,4x) = 42287,67 \text{ kgf} \cdot \text{cm} \quad (3)$$

Onde:

$h$  = Altura

$f_{ck}$  = Resistência do concreto à compressão;

$b_w$  = Largura da seção transversal;

$x$  = Altura da linha neutra;

$d$  = Altura útil

A altura da linha neutra foi utilizado como um fator fixo ( $d' = 5$  cm) inclusive para o dimensionamento com o bambu.. De posse do valor do momento fletor de cálculo é possível obter o momento fletor e, por conseguinte a carga atuante e a área de aço pela equação (4) e (5):

$$M_k = \frac{M_d}{1,4} = 30205,48 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_k = P \cdot a + \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (5)$$

Onde:

$\gamma_f$  = Coeficiente de majoração dos esforços = 1,4

$M_k$  = Momento fletor;

$P$  = Carga atuante;

$a$  = Distancia dos terços dos vão;

$q$  = Carga distribuída referente ao peso próprio;

$l$  = Comprimento da viga (vão teórico).

$$P = 1201,22 \text{ kgf} = 12,0122 \text{ kN} \quad (6)$$

$$A_s = \frac{M_k}{(d - 0,4x) \cdot f_{yk}} \quad (7)$$

Onde:

$A_s$  = Área de aço;

$M_k$  = Momento fletor;

$d$  = Altura útil;

$x$  = Altura da linha neutra;

$f_{yk}$  = Resistência característica de escoamento do aço à tração.

$$A_s = 0,62 \text{ cm}^2$$

Foram utilizados o aço CA50 Ø 6.3 mm em 2 vigas para fins de comparação, se haveria ou não ganho de resistência à flexão na tração e na parte superior como porta estribos CA50 Ø 5 mm, distribuídos uniformemente a cada 13 cm. Para encontrarmos a resistência à tração do bambu foi realizado muitos ensaios onde procurou-se o melhor corpo de prova para obtenção correta dos resultados, conforme estes resultados, a tensão do bambu foi de 1844 Kgf/ cm<sup>2</sup>. Encontrando a resistência à tração do bambu é possível fazer a comparação e a equivalência da área de bambu em relação ao aço pela equação (8) e (9):

$$\sigma_{aço} = \frac{F}{A} \quad (8)$$

$$5000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = \frac{F}{0,67 \text{ cm}^2}$$

$$F = 3350 \text{ kgf}$$

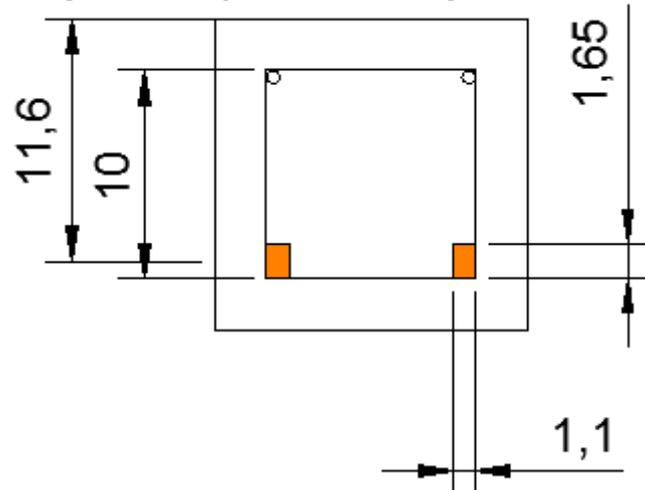
$$\sigma_{bambu} = \frac{F}{A} \quad (9)$$

$$1844 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = \frac{3350}{A}$$

$$A = 1,81 \text{ cm}^2 \text{ (Área equivalente de armaduras de bambu)}$$

Após encontrar a área equivalente do aço e do bambu os materiais foram levados à maquetaria da instituição para confecção das taliscas de bambu. A área utilizada nas armaduras de bambu ficou aproximadamente 1,815 cm<sup>2</sup> muito próximo ao calculado conforme as Figuras 26 e 27 apresentados a seguir:

Figura 26 - Seção transversal vigas de bambu



Fonte: autora (2019)

Como há uma variação dimensional entre cada colmo, as áreas de bambu utilizadas ficaram próximas à área de cálculo. O cobrimento adotado para todas as vigas foi de 2,5 cm, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), bem como os estribos a cada 13 cm.

Figura 27 - Montagem das armaduras das vigas de bambu



Fonte: autora (2019)

Foi tomado o cuidado para obter armaduras da parte entre os nós dos colmos de bambu. Em cada ensaio foram coletados os deslocamentos e estes deslocamentos são devido à aplicação da carga. Os ensaios foram realizados no LBTEC - Laboratório de Tecnologia Construtiva da UCS conforme Figura 28.

Figura 28 - Ensaio de tração na flexão



Fonte: autora (2019)

As vigas foram submetidas ao ensaio de flexão de 4 pontos, à ação de cargas concentradas, aplicadas de forma vertical e distribuída por duas forças concentradas, aplicadas nos terços dos vãos. A ideia do dimensionamento é encontrar qual a área de bambu compatível com a área de aço que será utilizada na viga de referência, tomando o cuidado para que este não passe para o domínio 3, quando dimensionada em concreto armado.

## 4 RESULTADOS

A análise dos resultados deste trabalho consistiu em alinhar dois fatores: a primeira análise sendo uma averiguação e comparação entre as tensões de aderência entre os materiais bambu e aço com o concreto; e o segundo fator de análise desta pesquisa são os ensaios de tração na flexão onde foram comparados os resultados médios das tensões, relacionados aos tratamentos superficiais.

### 4.1 RESULTADO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Por meio da Tabela 6 foi possível obter a média aritmética da tensão de compressão dos doze corpos de prova ensaiados. A tensão de compressão média obtida apresentou 53 MPa e um módulo de elasticidade de aproximadamente 21 GPa.

Tabela 6 - Resultados obtidos no ensaio de compressão paralela às fibras

Corpo de prova	Diâmetro externo (mm)	Espessura da parede (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga máxima (N)	Tensão de compressão (MPa)
1	129	14,1	5089,66	323730	63,61
2	134,3	16,3	6042,54	318825	52,76
3	132,8	17,5	6338,95	240345	37,92
4	134,3	13,9	5257,64	333540	63,44
5	136,9	13,8	5336,87	353160	66,17
6	139,9	16,7	6463,64	294300	45,53
7	134,9	14,7	5551,01	338445	60,97
8	137	14,1	5444,03	206010	37,84
9	134,3	19,5	7032,77	338445	48,12
10	140,1	19	7228,49	367875	50,89
11	129,6	15,6	5587,01	338445	60,58
12	134,1	12,8	4877,76	215820	44,25

Temperatura na hora do ensaio: 20,8 graus. Umidade relativa do ar: 41%

Fonte: autora (2019)

Observa-se o fato de que os resultados obtidos estão próximos aos valores indicados pela literatura, comprovando que a espécie ensaiada é indicada para aplicações estruturais. Ghavami et al. (2017) comentaram que ensaios de caracterização realizados na parte central dos colmos de bambus, sem nós, chegaram a resultados satisfatórios de resistência a compressão de até 78,8 MPa. Já o módulo de elasticidade mostrou resultado superior aos da maioria das madeiras de floresta plantada e tendo seu valor próximo ao do concreto convencional (BERALDO; CARBONARI, 2019).

#### 4.2 RESULTADO DO ENSAIO DE FLEXÃO

A norma indica um ensaio de flexão em 4 pontos no entanto o laboratório da instituição não possuía dispositivo disponível além do dispositivo que concentraria sua carga no centro do corpo de prova. Porém, no laboratório da Instituição só foi possível ensaiar os colmos à flexão em um dispositivo de 2 pontos. O valor encontrado foi de uma tensão de flexão de 80 N/mm<sup>2</sup>.

Após a conclusão do ensaio da resistência à flexão, cada colmo utilizado foi fatiado. Em seguida, foram destinados os prismas com aproximadamente 25 mm x 25 mm x 25 mm para os ensaios de teor de umidade e densidades respectivamente.

#### 4.3 RESULTADOS DO ENSAIO CISALHAMENTO

Segundo a ISO 22157 (2004), Parte II, o ensaio descrito na ISO 22157 (2004), Parte I, foi escolhido para aplicação na norma, pois entre muitos métodos este se mostrou o mais eficaz e confiável assim como outros métodos descritos pela normativa. Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 7, nela podemos ver também os resultados obtidos para ensaios semelhantes, com o *Dendrocalamus Asper*, por diversos autores em trabalhos anteriores.

Tabela 7 - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras

Autor	Tensão máxima de cisalhamento (MPa)
Ghavami e Souza (2000)	3,11
Ghavami e Marinho (2002)	3,88
CP1	1,67
CP2	1,23
CP3	1,07
CP4	1,02
CP5	0,92
CP6	1,03
CP7	1,63
CP8	0,97
CP9	0,74
CP10	0,76
CP11	1,12
CP12	1,44
Média CP's	1,13

Fonte: autora (2019)

Comparados os resultados anteriormente ensaiados e os resultados deste estudo ambos apresentaram uma pequena discrepância, havendo redução deste índice mecânico. Este resultado é importante pois nele pode-se assegurar a boa aderência entre o bambu e concreto mantendo os feixes de fibras unidos, apresentando melhor desempenho quando submetida a uma determinada solicitação sem provocar fendilhamento ou cisalhamento.

#### 4.4 RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Após muitos estudos e em conjunto com as sugestões de pesquisadores da área de pesquisa do bambu e também do laboratório da instituição, foi pensado em um corpo de prova que uniria todas as hipóteses sendo uma delas, a de que o corpo de prova deveria ter o mínimo contato das extremidades com as garras da máquina e também a de que a área útil não deveria ser tão espessa, uma vez que as fibras resistentes não romperiam antes do esmagamento. Foi então que ensaiamos o corpo de prova que obtivemos sucesso. O corpo de prova cilíndrico nos deu como resultado uma resistência a tração de 184,4 MPa e um módulo de elasticidade de 19,954 GPa. Valores estes coerentes com a literatura existente.

#### 4.5 RESULTADOS DO ENSAIO DE TEOR DE UMIDADE

Os corpos de prova estavam em forma de prisma com aproximadamente 25 mm de largura, 25 mm de altura e espessura igual à espessura da parede do colmo. As peças para este ensaio foram extraídas perto do local onde houve a o rompimento da peça. conforme mostrados nas Tabelas 8, 9, 10 e 11. Cuidados foram tomados para impedir que qualquer alteração ocorresse no teor de umidade entre a retirada do forno e as determinações sucessivas da massa.

Tabela 8 - Teor de umidade das peças do ensaio de compressão paralela às fibras

Corpo de prova	Massa da peça antes da secagem (g)	Massa da peça após a secagem (g)	Teor de umidade (%)	Corpo de prova	Massa da peça antes da secagem (g)	Massa da peça após a secagem (g)	Teor de umidade (%)
1	6,53	5,72	14,16	7	8,03	7,07	13,58
2	8,15	7,13	14,31	8	4,66	4,03	15,63
3	7,19	6,28	14,49	9	7,58	6,63	14,33
4	7,6	6,66	14,11	10	9,72	8,57	13,42
5	7,59	6,66	13,96	11	11,11	9,77	13,72
6	6,35	5,56	14,21	12	6,15	5,36	14,74
						Média	14,22

Fonte: autora (2019)

Tabela 9 - Teor de umidade das peças do ensaio de cisalhamento paralela às fibras

Corpo de prova	Massa da peça antes da secagem (g)	Massa da peça após a secagem (g)	Teor de umidade (%)	Corpo de prova	Massa da peça antes da secagem (g)	Massa da peça após a secagem (g)	Teor de umidade (%)
1	9,07	7,97	13,80	7	5,66	4,93	14,81
2	7,44	6,5	14,46	8	7,02	6,16	13,96
3	7	5,91	18,44	9	9,18	8,05	14,04
4	7,24	6,33	14,38	10	8,48	7,44	13,98
5	7	6,15	13,82	11	6,96	6,15	13,17
6	5,97	5,21	14,59	12	5,37	4,77	12,58
						Média	14,34

Fonte: autora (2019)

Tabela 10 - Teor de umidade das peças do ensaio de flexão

Corpo de prova	Massa da peça antes da secagem (g)	Massa da peça após a secagem (g)	Teor de umidade (%)	Corpo de prova	Massa da peça antes da secagem (g)	Massa da peça após a secagem (g)	Teor de umidade (%)
1	9,6	8,48	13,21	7	6,04	5,32	13,53
2	8,22	7,26	13,22	8	4,44	3,89	14,14
3	8,3	7,27	14,17	9	7,91	6,99	13,16
4	8,46	7,45	13,56	10	7,82	6,87	13,83
5	7,87	6,92	13,73	11	11,49	10,1	13,76
6	6,2	5,43	14,18	12	5,94	5,17	14,89
						Média	13,78

Fonte: autora (2019)

Tabela 11 - Teor de umidade das peças do ensaio de tração

Corpo de prova	Massa da peça antes da secagem (g)	Massa da peça após a secagem (g)	Teor de umidade (%)	Corpo de prova	Massa da peça antes da secagem (g)	Massa da peça após a secagem (g)	Teor de umidade (%)
1	7,32	6,38	14,73	7	8	7,01	14,12
2	5,38	4,56	17,98	8	7,29	6,23	17,01
3	7,93	6,77	17,13	9	7,69	6,72	14,43
4	7,91	6,67	18,59	10	5,54	4,69	18,12
5	8,58	7,41	15,79	11	8,48	7,32	15,85
6	9,45	8,1	16,67	12	7,65	6,38	19,91
						Média	16,70

Fonte: autora (2019)

Nota-se que os corpos de prova submetidos ao ensaio de tração foram o que mais obtiveram teor de umidade. Isso pode explicar uma das dificuldades em realizar o ensaio uma vez que as garras esmagavam as extremidades do mesmo.

#### 4.6 RESULTADOS DE ADERÊNCIA

Os dados da resistência ao arrancamento, ou seja, resistência de aderência em MPa, do aço e o concreto e taliscas de bambu encravadas no concreto, em função dos tratamentos superficiais aplicados e das profundidades de ancoragem consideradas para este ensaio, estão apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Tensão de aderência aos 28 dias

Identificação	Perímetro (cm)	Profundidade de ancoragem (cm)	Força máxima (kN)	Tensão de aderência aos 28 dias (MPa)
CCA	1,97	7	24,205	1,76
CCA	1,97	7	24,25	1,76
CBS	5,5	7	2,148	0,06
CBS	5,5	7	1,879	0,05
CBTR1	5,5	7	2,962	0,08
CBTR1	5,5	7	2,148	0,06
CBTR2	5,5	7	2,289	0,06
CBTR2	5,5	7	2,065	0,05

Fonte: autora (2019)

Constatou-se na avaliação de resistência à aderência que nos corpos de prova com tratamento superficial 1, que consistiu em tratar taliscas de bambu com uma camada de verniz e uma camada de areia grossa, comparados aos outros corpos de prova com taliscas de bambu, a resistência foi maior porém não significativo, com valores médios respectivamente de 0,07 MPa. Um fator importante é de que em alguns corpos de prova de bambu, haviam nós. Não foi possível obter todos os corpos de prova sem nós com os materiais disponíveis em laboratório. Foram observados que durante o ensaio de arrancamento este fator não foi determinante para os resultados finais como podemos observar na Figura 29. Todos os corpos de prova escorregaram independentemente dos nós, o que poderia romper antes do escorregamento da talisca no concreto. Lopes et al. (2002) avaliou taliscas de bambu em solo-cimento, nos ensaios os pesquisadores tiveram problemas com os nós. A hipótese encontrada naquela ocasião para este fator é de que a talisca rompeu no nó antes de escorregar porque a resistência de aderência do bambu na matriz de solo-cimento foi relativamente maior que a resistência à tração no próprio nó.

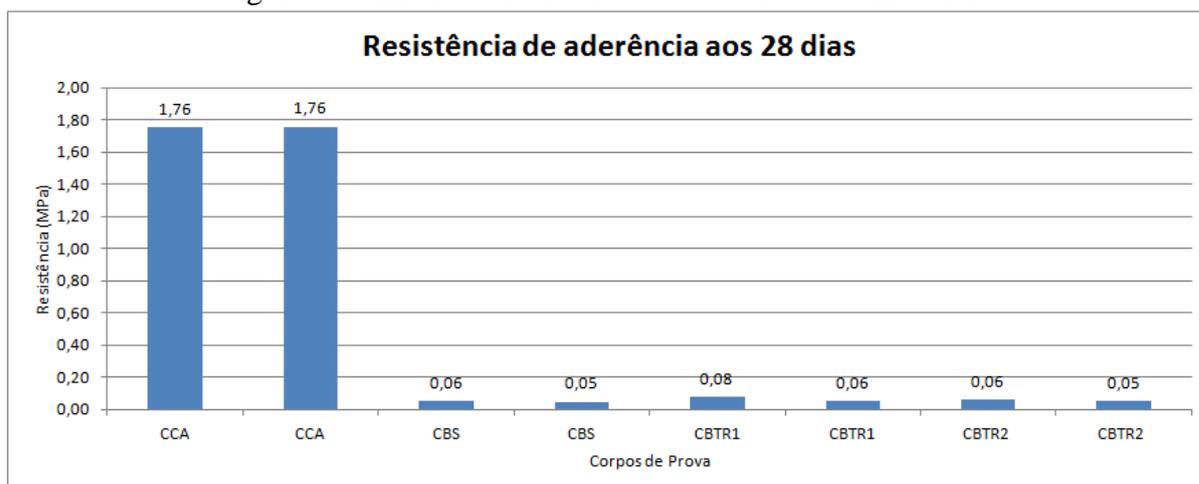
Figura 29 - Detalhe da talisca sem tratamento com nó



Fonte: autora (2019)

Observamos também que este era um ensaio que poderia nos trazer alguns empecilhos, pois foram muitos os corpos de provas que foram usinados para encontrar a resistência à tração do bambu, uma vez que a máquina esmagava o material antes de tracioná-lo. Apesar de os corpos de prova com taliscas de bambu mostrar em ter resistência de aderência até 25,14 vezes menor que a resistência de aderência do aço ao concreto, no momento do ensaio a talisca escorregou sem que a extremidade superior da talisca fosse esmagada pela máquina do ensaio, possibilitando o andamento do ensaio conforme o previsto. Na Figura 30 podemos analisar a discrepância entre os corpos de prova com as taliscas de bambu encravadas no concreto e os corpos de prova com aço.

Figura 30 - Ensaio de resistência de aderência dos materiais



Fonte: autora (2019)

Para as curvas referentes às taliscas de bambu sem tratamento (CBS), com tratamento superficial 2 (CBTR2) os valores foram muito próximos mostrando que quase não há nenhum acréscimo de resistência tratando o bambu com manta asfáltica e areia grossa. Utilizar o tratamento superficial 2 (CBTR2) apenas acrescentaria custo ao processo. Mas se compararmos a talisca sem tratamento (CBS), com o tratamento superficial 1 (CBTR1), a resistência de aderência tem um ganho de 21,42%. Há também uma diferença significativa entre as forças aplicadas para o corpo de prova com aço e com as taliscas de bambu. Enquanto o corpo de prova com concreto e aço (CCA) apresentou uma força máxima de aproximadamente 24 kN, o bambu com tratamento superficial 1 (CBTR1) apresentou uma força média de 2,55 kN, sendo este o maior valor dentre os ensaios que tinham o bambu.

Uma vez que os corpos de prova de concreto foram curados em câmara úmida pelo período de 28 dias, os tratamentos superficiais evitaram danos às taliscas pois durante o ensaio não houve a ruptura da talisca e nem o esmagamento da parte superior externa como pode-se perceber na Figura 31. Em nenhum dos corpos de prova, incluindo os que tinham o aço imerso, apresentaram rompimento do concreto, nenhum dos corpos de prova apresentou tão poucas fissuras ao longo da peça.

Figura 31 - Escorregamento da talisca CBTR2 no momento do ensaio



Fonte: autora (2019)

Salgado (2000) pesquisou e avaliou o arrancamento de uma talisca de bambu tratada com alcatrão e areia imersa no concreto. O pesquisador observou que a extração deste tratamento exige maior força de arrancamento que as taliscas sem tratamento superficial ou tratadas com ranhuras no exterior da casca. O autor explica que a camada de alcatrão tem que ser fina para não prejudicar a união ao concreto no momento do ensaio de arrancamento. Neste trabalho os corpos de prova CBTR1 apresentaram uma força média de arrancamento de 2,55 kN, uma força maior de arrancamento em relação ao CBS que tiveram uma força média de arrancamento de 2,01 kN.

#### 4.7 RESULTADOS DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Na Tabela 13 podemos analisar as cargas finais para as diferentes vigas testadas onde foram comparadas com as cargas finais previstas de acordo com o dimensionamento. A redução da capacidade de tração na flexão nas vigas com tratamento superficial 2, que consiste em tratar o bambu com verniz e areia grossa, foi surpreendentemente abaixo em relação à viga armada com aço, utilizada como referência. Em uma primeira análise dos

resultados o tratamento superficial 1, as vigas mostraram a eficiência do bambu quando utilizado como armadura longitudinal uma vez que seus valores apresentaram uma resistência média à tração na flexão de 14,18 MPa.

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de tração na flexão

Identificação	Força máxima (N)	Resistência à tração na Flexão (MPa)	Resistência média à tração na Flexão (MPa)
CCA	94800	18,96	17,56
CCA	80815	16,16	
CBTR1	75313	15,06	14,18
CBTR1	66486	13,3	
CBTR2	64079	12,82	12,6
CBTR2	61901	12,38	
CBS	60640	12,13	11,21
CBS	51470	10,29	
CS	46884	9,38	8,06
CS	33702	6,74	

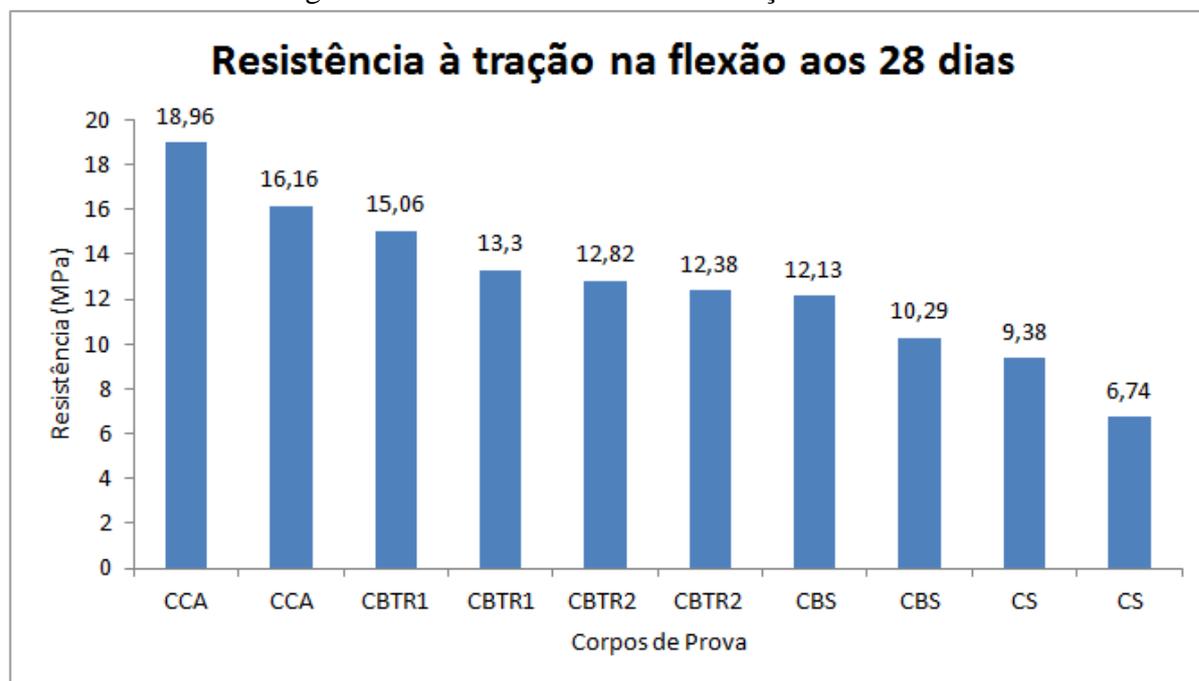
Fonte: autora (2019)

É importante ressaltar que a utilização do verniz e areia grossa permitem fácil aplicação e custos são relativamente baixos quando comparado ao tratamento superficial 2 que consiste em tratar o bambu com manta asfáltica e areia grossa respectivamente. Nos casos de comparação entre as vigas CBTR1 e CBTR2 o aumento de resistência à flexão na tração pode oferecer alguns resultados interessantes em relação à resistência ao cisalhamento. Outro resultado importante dessas comparações das cargas finais das vigas é que a perda de ligação entre o bambu e o concreto poderia ser compensado com o uso de estribos de aço.

Durante o ensaio quando a viga de aço estava carregada com a carga prevista para atuar no domínio calculado a carga média foi de 87,80 kN. Quando ocorreu o mesmo carregamento na viga de bambu com tratamento superficial 1, a carga média foi de 70,89 kN, uma redução de 19,25%. As vigas superaram a carga calculada no dimensionamento, ou seja, uma carga de 12,01 kN. Porém em relação à viga moldada apenas com concreto todas as demais ganharam resistência. Comprovando que o concreto não resiste bem à tração na flexão, entrando em colapso sem aviso prévio. A evolução das tensões ao longo do tempo nas

armaduras longitudinais, tanto para o aço como para o bambu estão representadas na Figura 32.

Figura 32 - Ensaio de resistência à tração na flexão



Fonte: autora (2019)

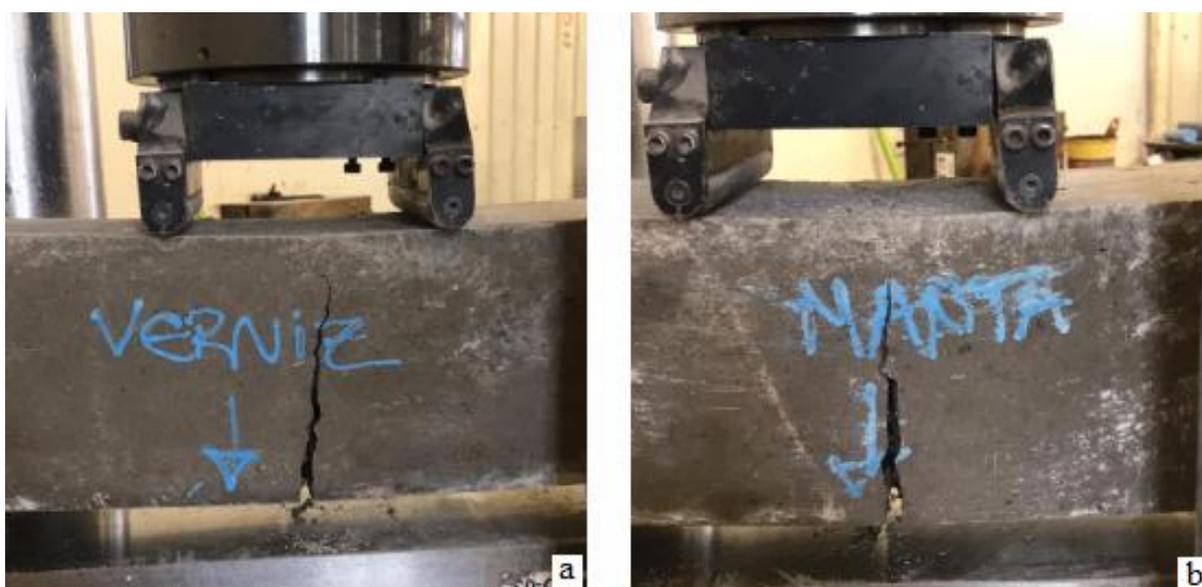
Oliveira e Vito (2012) perceberam que ao calcular o carregamento necessário para que as vigas de bambu resistissem ao esforço de flexão, a viga armada com aço obteve uma carga de 101,82 kN e a de bambu 28,12 kN, sendo este valor 27,62 % da capacidade de resistência da viga armada com aço. Podemos observar que neste trabalho a viga armada com aço (CCA) obteve uma carga média de 87,80 kN e a de bambu sem tratamento superficial (CBS) 56,05 kN, sendo este valor 63,84 % da capacidade de resistência da viga armada com aço. Já a viga ramada com bambu com tratamento superficial 1 (CBTR1), obteve 80,74% da capacidade de resistência da viga armada com aço.

Ferreira (2002) analisou e comparou diferentes tipos de vigas, sendo que a de referência era com aço. Em uma das vigas armada com bambu sem tratamento a mesma apresentou, no momento do ensaio, algumas fissuras até que a mesma rompeu o concreto antes do escoamento das armaduras de aço e de bambu. Podemos perceber na Figura 33 que o mesmo comportamento foi obtido nos ensaios deste trabalho.

Em todas as vigas armadas com bambu, com ou sem tratamento, não houve o colapso total da peça, atuando no domínio 2/3, onde o colapso da viga se dá com “aviso

prévio” alertando os usuários de um problema sério na estrutura. . Em nenhuma das vigas armadas com bambu houve um número significativo de fissuras, apenas uma fissura intensa não havendo ruptura por esmagamento do concreto na região comprimida. As mesmas fissuras apareceram praticamente nos mesmos locais, aproximadamente no meio da peça onde o concreto rompeu. Durante o ensaio verificou-se que a fissura continuou aumentando, porém suportando uma carga constante, sem rompimento total da peça.

Figura 33 - Tipos de fissuras (a) detalhe CBTR1 e (b) detalhe CBTR2



Fonte: autora (2019)

Um fato interessante a ser observado é que a viga de referência (CCA) apresentou inúmeras fissuras ao longo do seu comprimento e largura como podemos observar na Figura 34, mostrando que houve um melhor aproveitamento da armadura. Já as vigas de bambu apresentaram as mesmas configurações de fissuras na parte central da borda mais comprimida da peça submetida à flexão. A redistribuição das cargas nos estribos mostra sua importância para vigas de concreto armado com bambu.

Nas vigas de referência pode-se observar que as trajetórias das tensões são inclinadas devido à influência dos esforços cortantes. Enquanto a resistência à tração do concreto era superior às tensões principais de tração não surgiram fissuras na viga. As primeiras fissuras de flexão surgiram no instante em que as tensões de tração atuantes se igualaram a resistência do concreto à tração na flexão apresentando fissuras no estágio II.

Figura 34 - Tipos de fissura CCA (a) detalhe borda comprimida e (b) vista lateral

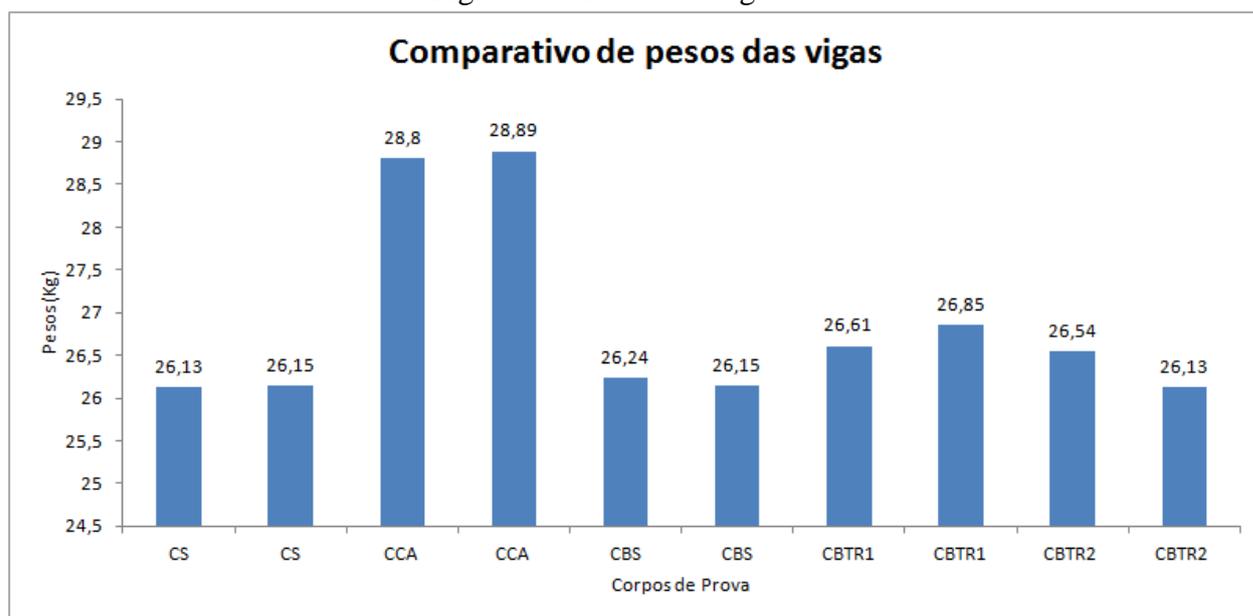


Fonte: autora (2019)

As vigas atuaram no domínio 2, assim como prevê a NBR 6118 (ABNT, 2014), tanto para as vigas armadas com aço e para as vigas armadas com bambu, no quesito segurança da peça estrutural, no caso de vir a ocorrer o colapso da viga, a mesma será com “aviso prévio”. Isto ocorre devido ao fato de que a armadura, seja ela de aço ou bambu, continuará escoando, a fissuração será intensa e ocorrerá antes de uma possível ruptura por esmagamento do concreto na região comprimida, permitindo a evacuação do local e protegendo a integridade física dos usuários.

Outro aspecto importante a ser considerado é de que as estruturas armadas com bambu são relativamente mais leves. O bambu é um material flexível utilizado em todo o mundo inclusive em regiões que tem abalos sísmicos por ser um material leve de grande capacidade de deformar sem romper. Todas as peças foram pesadas antes do ensaio de tração na flexão e podemos ver e comparar na Figura 35. Todas as peças armadas com bambu ficaram com seu peso abaixo da viga de referência, armada com aço.

Figura 35 - Pesos das vigas



Fonte: autora (2019)

Para as vigas armadas com bambu com tratamento a base de verniz e areia, foi confirmando que o tratamento aumentou a aderência com o concreto e proporcionou resultados satisfatórios se estes forem utilizados em estruturas de menor porte que suportem cargas menores. Entre o CCA e CBTR1, os valores de carga máxima suportada pelo bambu e o aço foram mais próximos em relação às outras vigas ensaiadas. Portanto, houve aderência entre o bambu e o concreto assim como ocorre entre o concreto e o aço, fato muito positivo uma vez que o bambu é um material natural que não passou por nenhum processo industrial e não foi produzido para este fim.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo analisar as diferenças de resistência à tração na flexão quando da substituição do aço pelo bambu como armadura em vigas isoladas bi-apoiadas de concreto. Através do desenvolvimento de uma análise técnica comparativa dos resultados obtidos percebemos qual a relação dos resultados da flexão com a aderência.

A diminuição de aderência entre o concreto e o bambu sem tratamento, e o tratamento superficial 2 mostraram o baixo desempenho, com uma redução de 32 vezes que os corpos de prova com o aço. Porém, um pequeno ganho de aderência nas amostras com taliscas tratadas com uma camada de verniz e areia grossa podendo ter influência direta no ganho de resistência a flexão nas vigas armadas com bambu, em relação ao aço. Foi possível verificar que após 28 dias de cura, a resistência de aderência teve um ganho de 21,42% se compararmos a média dos corpos de prova CBS com o CBTR1. Os corpos de prova com o aço apresentaram uma força máxima de aproximadamente 24 kN, o bambu com tratamento superficial 1 apresentou uma força média de 2,55 kN, sendo este o maior valor dentre os ensaios que tinham bambu. Houve uma discrepância significativa entre os corpos de prova com aço e os de bambu.

Em relação ao ganho de resistência à flexão o tratamento CBTR1, o comportamento deste tratamento mostrou que a utilização do bambu como armadura longitudinal nas vigas é viável do ponto de vista estrutural pois a viga de concreto armado com bambu tratado com verniz e areia grossa alcançou uma resistência quando tracionada na flexão considerando o estado limite último em comparação à viga de concreto armado com aço. Esta afirmação se dá pelo fato de que a mesma hipótese de cálculo foi utilizada para ambas as vigas (Domínio 2), mesmo considerando que o bambu é um material natural e não homogêneo, onde suas propriedades podem alterar dependendo do bambu utilizado. A viga de concreto armado com bambu, tratado com verniz e areia grossa, alcançou uma resistência média de 14,18 MPa quando tracionada, considerando o estado limite último em comparação à viga de concreto armado com aço que obteve uma resistência média de 17,56 MPa.

É possível utilizar o bambu como armadura tracionada em vigas isoladas bi-apoiadas de concreto, se compararmos a substituição do aço por taliscas de bambu sem tratamento ou tratamento superficial a base de manta asfáltica com areia grossa. Porém, se compararmos a viga armada com o aço e a viga armada com bambu, submetida ao tratamento superficial a

base de verniz e areia grossa, percebemos que a diferença de resistência à flexão é menor o que torna viável a utilização das vigas de bambu do ponto de vista estrutural, sendo necessários maiores estudos e pesquisas referentes à caracterização do bambu e a durabilidade do bambu imerso ao concreto. A seguir algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Aprimorar a caracterização tanto do concreto quanto do bambu aprofundando o estudo da aderência;
- Aprimorar o ensaio de Tração paralela às fibras;
- Aprimorar os dispositivos utilizados em laboratório, uma vez que a norma para estudos de aderência, é antiga;
- Aprimorar o método de cura do concreto do ensaio de aderência para o corpo de prova utilizado neste trabalho;
- Estudar uma metodologia específica para o dimensionamento do bambu como armadura em elementos estruturais;
- Aplicação do bambu como armadura em elementos estruturais de dimensões reais.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 30**: Agregado miúdo - Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45**: Determinação da massa unitária e volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53**: Agregado graúdo - Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: Abnt, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: Abnt, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - procedimento. 3. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11579**: Cimento Portland - Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº200). Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto armado - preparo controle, recebimento e aceitação- procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

AZZINI, A; BERALDO, A. L. **Método práticos de tratamento do bambu**. Campinas: Unicamp, 2001.

BERALDO, A.L.; AZZINI, A.; CASCARDO, C.R.; RIBEIRO, C.A. Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: avaliação por ultrassom. *In*: III ENECS - Encontro nacional sobre edificações e Comunidades Sustentáveis . São Carlos, SP. 2003. **Anais...** São Carlos, 2003.

BERALDO, A. L.; CARBONARI, G. Propriedades anatômicas, físicas, químicas, mecânicas do bambu e ensaios para sua determinação. *In*: LIBRELOTTO, L. I.; OSTAPIV, F. **Bambu**: caminhos para o desenvolvimento sustentável. Florianópolis: Grupo de Pesquisa Virtuhab, 2019. Cap. 3. p. 44-69. Disponível em: [https://issuu.com/jlmartinss/docs/bambu\\_-\\_caminhos\\_para\\_o\\_desenvolvim?fbclid=IwAR31ITmP3VD\\_g78rQhir4SiE2EZMDZq9zSYQbP3wyaryEi05JRjKLPoAhkQ](https://issuu.com/jlmartinss/docs/bambu_-_caminhos_para_o_desenvolvim?fbclid=IwAR31ITmP3VD_g78rQhir4SiE2EZMDZq9zSYQbP3wyaryEi05JRjKLPoAhkQ). Acesso em: 14 mai. 2019.

BOTELHO, M. H.; FERRAZ, N. N. **Concreto armado eu te amo**. 8. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2015.

DAROLT, L. R. H., **Análise aderência bambu-concreto**. Revista on-line IPOG. Araranguá, SC, jul. 2016.

FUSCO, P. B.; ONISHI, M. **Introdução à engenharia de estruturas de concreto**. São Paulo: Cengage, 2017.

FARRELY, D. **The book of bamboo**. San Francisco: Sierra Club Books, 1984. Disponível em: <https://archive.org/details/TheBookOfBambooPart1-DavidFarrelly>. Acesso em: 19 mar. 2019.

FERREIRA, G.C.S, **Vigas de concreto armadas com bambu**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. P. S. A check list of de basal grasses and bamboos in Brazil. **Bamboo Science & Culture**: The Journal American Bamboo Society, Louisiana, USA, v. 18, n.1, p.7-18, out 2004.

GHAVAMI, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement and Concrete Composites**, n. 27. p.637-649, jun. 2004. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/222684721\\_Bamboo\\_as\\_reinforcement\\_in\\_structural\\_concrete\\_elements](https://www.researchgate.net/publication/222684721_Bamboo_as_reinforcement_in_structural_concrete_elements). Acesso em: 28 abr. 2019.

GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P.; MOREIRA, L. E. Bambu como material de Engenharia. **CTC/ PUC-RIO**, p. 305-348, fev. 2017. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/320208925\\_Bambu\\_como\\_Material\\_de\\_Engenharia](https://www.researchgate.net/publication/320208925_Bambu_como_Material_de_Engenharia)  
Acesso em: 09 mai. 2019.

GHAVAMI, K. Ultimate load behavior of bamboo-reinforced lightweight concrete beams. **Cement and Concrete Composites**, London, v.17, n. 4, p. 259-351, 1995. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223066023\\_Ultimate\\_load\\_behaviour\\_of\\_bamboo-reinforced\\_lightweight\\_concrete\\_beams](https://www.researchgate.net/publication/223066023_Ultimate_load_behaviour_of_bamboo-reinforced_lightweight_concrete_beams). Acesso em: 07 abr. 2019.

GHAVAMI, K.; HOMBECK, R.V. Application of bamboo as a construction material. *In: Proceedings of the Latin America Symposium Applied to Low Cost Housing*. São Paulo: IPT, 1981.

INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN- INBAR. **Priority species of bamboo and rattan**. New Delhi, India, 1999. Disponível em: [www.inbar.int](http://www.inbar.int). Acesso em: 5 mar. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **2156**: Bamboo - Structural design. Suíça: Iso, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **22157**: Bamboo — Determination of physical and mechanical properties. Suíça: Iso, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **22157-2**: Bamboo — Determination of physical and mechanical properties. Suíça: Iso, 2004.

JANSSEN, J. J.; INTERNATIONAL NETWORK OF BAMBOO AND RATTAN- INBAR. **Designing and building with bamboo**. Beijing, China: Technical report, 2000. Disponível em: [https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/INBAR\\_technical\\_report\\_no20.pdf](https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/INBAR_technical_report_no20.pdf). Acesso em: 03 mar. 2019.

LIESE, W. **Bamboos - Biology, silvics, properties, utilization**. Eschborn, Germany: Deutsche Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit, 1985.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, China: International Network For Bamboo And Rattan - Inbar, 1998.

LIESE, W. Research on bamboo. **Wood And Science Technology**, Hamburg, Germany, v. 3, n. 21, p.189-209, 1987.

LIMA JR., H. C; DALCANAL, P. R; WILLRICH, F. L.; BARBOSA, N. P. Características mecânicas do bambu *Dendrocalamus giganteus*: análise teórica e experimental. *In: BARBOSA, N. P.; SWAMY, R. N.; LYNSDALE, C. (ed.). Sustainable construction into the next millennium: environmentally friendly and innovative cement based materials*. João Pessoa: Federal University of Paraíba and The University of Sheffield, 2000. p. 394-406.

LOPEZ, H. O. **Bambú**: su cultivo y aplicaciones en: Fabricación de papel, construcción, arquitetura, ingeniería, artesanía. Estudios Tecnicos Colombianos LTDA, Colômbia, 1974.

LOPEZ, H. O. **Bamboo**: the gift of the God's. D'vinni Ltda., Bogotá, Colombia. 2003.

LOPES, W. R. R.; FREIRE, W. J.; FERREIRA, G. C. S. Ensaio de arrancamento e empuxamento aplicados a taliscas de bambu encravadas em corpos de prova de solo-cimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 6, n. 3, p. 504-510, 2002.

LIBRELOTTO, L. I.; OSTAPIV, F. **Bambu: caminhos para o desenvolvimento sustentável no Brasil**. Florianópolis: UFSC Grupo de pesquisa virtuhab, 2019. *E-book*. Disponível em: [https://issuu.com/jlmartinss/docs/bambu\\_-\\_caminhos\\_para\\_o\\_desenvolvim?fbclid=IwAR31ITmP3VD\\_g78rQhir4SiE2EZMDZq9zSYQbP3wyaryEi05JRjKLPoAhkQ](https://issuu.com/jlmartinss/docs/bambu_-_caminhos_para_o_desenvolvim?fbclid=IwAR31ITmP3VD_g78rQhir4SiE2EZMDZq9zSYQbP3wyaryEi05JRjKLPoAhkQ). Acesso em: 14 mai. 2019.

METHA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MACGREGOR, J. G.; WHIGHT, J. K. **Reinforced Concrete, mechanics and design**. 6. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc, 2005.

MESQUITA, L. P.; CZARNIESKI, C. J.; FILHO, A. C. B.; WILLRICH, F. L.; JUNIOR, H. C. L.; BARBOSA, N. P. Determinação da tensão de aderência do bambu-concreto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 505-516, nov. 2005.

MELGES, J. L. P.; AKASAKI, J. L.; MORETTI, J. F.; SOUSA, L. C.; GILIO, F. H. S. **Avaliação experimental da aderência entre o bambu e o concreto por meio de ensaios de arrancamento**. Vitória, ES, jul. 2012.

MOREIRA, L. E.; GHAVAMI, K. Os méritos do bambu. **O Informador das Construções, Pesquisa e Prospecção**. Belo Horizonte, MG, p. 22-23, jan. 1995.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Concrete Technology**. 2. ed. England: Pearson Education Limited, 2013. *E-book* Disponível em: <https://pt.slideshare.net/JITENDRASUWASIYA/concrete-technology-2nd-edition-book>. Acesso em: 29 abr. 2019.

NETO, E. P. **Caderno de receitas de concreto armado**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2018.

OLIVEIRA, T. F. C. S. **Sustentabilidade e Arquitetura: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. 2006. Dissertação (Mestrado em dinâmica do Espaço Habitado) - Universidade federal de alagoas, Maceió, AL, 2006.

OLIVEIRA, C. S., VITO, M. **Substituição total do aço, usando o bambu como armadura de combate a flexão em vigas de concreto**. 2012. Artigo (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, 2012.

PEREIRA, M. A. R. Desenvolvimento e produção do bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) cultivado na UNESP/Campus de Bauru - SP, com vistas à sua utilização na engenharia agrícola. *In: XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA. Anais...* Goiania: Unesp, 2003.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Bauru, SP: Canal6, 2008.

RIAÑO, N. M.; LONDOÑO, X.; LÓPEZ, Y.; GÓMEZ, J. H. Plant growth and biomass distribution on *Guadua angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca - Colombia. **The Journal of the American Bamboo Society**, Colombia, v. 1, n. 16, p. 43-51, 2002. Disponível em: <http://www.maderinsa.com/guadua/fijacion.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2019.

RUSCHEL, R. **Curso básico de concreto armado**. Porto Alegre, RS: Editora Globo, 1974.

SALGADO, A. L. B. **Resistência a la extracción de astillas de bambu enclavadas en concreto**. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p.407-412, 2000.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo, SP: Editora Pini, 1998.

SPOLIDORO, P. V. **Características dendrométricas e propriedades físicas dos colmos de *Bambusa vulgaris* e *Bambusa tuldoides***. 2008. 68 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto da Floretas, Seropédica, RJ, 2008. Disponível em: [http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8269/2008\\_2\\_Pedro-Varaj%C3%A3o-Spolidoro.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8269/2008_2_Pedro-Varaj%C3%A3o-Spolidoro.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 03 mai. 2019.