

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Análise do comportamento mecânico e biológico do bambu gigante (*Dendrocalamus asper*) tratado com cobre e boro

Hugo Rocha Scharfenberg

Uberaba

2020

Hugo Rocha Scharfenberg

Análise do comportamento mecânico e biológico do bambu gigante (*Dendrocalamus asper*)
tratado com cobre e boro

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado
Profissional em Inovação Tecnológica da Universidade
Federal do Triângulo Mineiro, como requisito para a
obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Massao Shimano
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Borella Marfil
Anhê

Uberaba

2020

**Catálogo na fonte: Biblioteca da Universidade Federal do
Triângulo Mineiro**

S327a	<p>Scharfenberg, Hugo Rocha Análise do comportamento mecânico e biológico do bambu gigante (<i>Dendrocalamus asper</i>) tratado com cobre e boro / Hugo Rocha Scharfenberg. – 2020. 99 f. : il., graf., tab.</p> <p>Dissertação (Mestrado Profissional em Inovação Tecnológica) -- Uni- versidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG, 2020 Orientador: Prof. Dr. Marcos Massao Shimano Coorientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Borella Marfil Anhô</p> <p>1. Bambu – preservativos. 2. Boro. 3. Cobre. 4. Eliminação de Efluentes Industriais. 5. Alfaca. 6. Testes de fitotoxicidade. 7. Sustentabilidade. 8. Inseto - Xilófago. I. Shimano, Marcos Massao. II. Universidade Federal do Triângulo Mineiro. III. Título.</p> <p>CDU 676.034.26:661</p>
-------	---

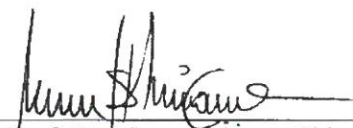
HUGO ROCHA SCHARFENBERG

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E BIOLÓGICO DO BAMBU
GIGANTE (*DENDROCALAMUS ASPER*) TRATADO COM COBRE E BORO

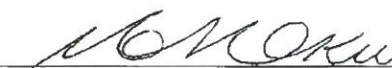
Trabalho de conclusão apresentado ao
Programa de Mestrado Profissional em
Inovação Tecnológica da Universidade Federal
do Triângulo Mineiro, como requisito para
obtenção do título de mestre.

Uberaba, 28 de janeiro de 2020


Banca Examinadora:



Prof. Dr. Marcos Massao Shimano
Orientador – UFTM



Profa. Dra. Mônica Hitomi Okura
Membro titular – UFTM



Prof. Dr. Antônio Ludovico Beraldo
Membro Titular – UNICAMP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela existência.

Agradeço à minha família e meus amigos.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Marcos Massao Shimano e Prof.^a Dra. Ana Carolina Borella Marfil Anhê, que me ajudaram e incentivaram de todas as formas, a todo momento. Sem eles não seria possível realizar este trabalho.

Ao Prof. Dr. Antonio Ludovico Beraldo, minha grande referência na pesquisa com bambu, que me orientou virtualmente sempre com muita disposição e paciência.

À Prof.^a Dra. Mônica Hitomi Okura, que me trouxe imenso auxílio no projeto, sempre com muita alegria.

Ao Jorge Maron, do Instituto Ameríndia e Bruno Sales, Insituto Bambu Mantiqueira, metres bambuzeiros que me trouxeram conhecimento prático da construção e design com bambu.

Aos professores e ao secretário do PMPIT.

À CAPES e à FAPEMIG.

Ao Paulo Bittar, da VR Homeopatia, pelo fornecimento dos recipientes necessários para a pesquisa.

À empresa Sulboro, que forneceu octaborato de sódio, produto fundamental para a realização do projeto.

À empresa Montana Química, fornecedora dos insumos químicos Cromoazurol S e MOQ OX-50 CCB.

Ao Prof. Dr. Fernando Nunes Gouveia, quem forneceu do Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro, os fungos xilófagos utilizados nos ensaios deste projeto.

RESUMO

Com o aumento das demandas por materiais construtivos, alternativas se fazem necessárias para assegurar a sustentabilidade na exploração dos recursos naturais. Nesse meio, ao se apresentar em abundância na natureza agregando bom comportamento mecânico e extensa aplicabilidade, o bambu tem despertado interesse. No entanto, trata-se de um material que não possui boa resistência frente aos ataques dos organismos xilófagos, o que limita e prejudica seu uso. Dessa forma, são realizados tratamentos preservativos que muitas vezes esbarram na ineficiência ou no alto impacto ambiental apresentado no descarte das substâncias utilizadas. Atualmente os tratamentos baseados em boro são os mais estudados e utilizados, tendo como maior relevância o octaborato de sódio e o CCB, composto baseado na ação do boro juntamente com cobre e cromo. Neste trabalho, foi estudado o tratamento do bambu gigante sob imersão em “CB”, que atua com cobre (sulfato de cobre) e boro (ácido bórico), porém sem o cromo. Os colmos foram tratados por imersão por 7 dias com CB com Ácido bórico a 1% e Sulfato de cobre a 0,5%, CB com Ácido bórico a 2% e Sulfato de cobre a 1% e Octaborato (O) a 5%. Foi avaliada a resistência ao ataque acelerado dos fungos de podridão branca - *Trametes versicolor*, podridão parda - *Gloeophyllum trabeum* e *Postia placenta* por perda de resistência mecânica e perda de massa para os grupos tratados e não-tratados (N). Ademais, foram feitos testes de germinação de sementes de alface (*Lactuca sativa*) frente às soluções de CB, CCB e O sob diferentes diluições, de forma a simular a fitotoxicidade do descarte destes compostos pós-tratamento no solo. Os resultados de perda de massa variaram pouco de grupo para grupo, sendo todos classificados como “altamente resistentes”. Entretanto, os valores dos grupos CB e O se apresentaram similares diante de *T. versicolor* e *G. trabeum*; para *P. placenta*, O ofereceu menor resistência que N e CB. No teste de perda de resistência mecânica, avaliadas por ensaios de flexão estática, CB manifestou maiores Módulos de Ruptura que N e O diante de *T. versicolor* e maior que O frente ao *G. trabeum*; A capacidade de deflexão de O foi menor que N e CB nos três fungos. Dessa forma, foi possível notar que o ácido bórico com sulfato de cobre tem potencial eficácia no tratamento do bambu, exigindo mais testes para comprovação com maior suficiência. No teste de fitotoxicidade, todos os grupos testados se mostraram muito fitotóxicos, sendo necessárias altas diluições ou mesmo um pós-tratamento do efluente para minimizar o impacto ambiental do descarte.

Palavras-chave: Alface; CB; CCB; Descarte; Fitotoxicidade; Resistência; Sustentabilidade; Tratamento; Xilófagos.

ABSTRACT

With the increasing demands for constructive materials, alternatives are necessary to ensure sustainability in the exploitation of natural resources. In this environment, by presenting itself in abundance in nature, adding good mechanical behavior and extensive applicability, bamboo has attracted interest. However, it does not have good resistance against the attacks of xylophagous organisms, which limits and harms its use. Therefore, preservative treatments are performed usually running counter to the inefficiency or the high environmental impact in the disposal of substances used. Currently, boron treatments based on boron are the most used, with the greatest relevance being sodium octaborate and CCB, a compound based on the action of boron with copper and chromium. In this work, the treatment of giant bamboo under immersion in “CB” was studied, which works with copper and boron, without chromium. The stems were treated by immersion for 7 days with CB, Boric acid at 1% and copper sulphate at 0,5%, CB Boric acid at 2% and copper sulphate at 1% and Sodium octaborate at 5%. Resistance to accelerated attack by white rot fungus - *Trametes versicolor*, brown rot fungus - *Gloeophyllum trabeum* and *Postia placenta* was evaluated by loss of mechanical resistance and loss of mass for treated and untreated groups (N). In addition, tests of seeds of lettuce (*Lactuca sativa*) germination were carried out against CB, CCB and O solutions under different dilutions, in order to simulate the phytotoxicity of these compounds’ disposal after treatment in the soil. The results of mass loss showed small variation from group to group, being all classified as “highly resistant”. However, the values of the CB and O groups were similar compared to *T. versicolor* and *G. trabeum*; against *P. placenta*, O offered less resistance than N and CB. In the loss of mechanical strength test, evaluated by static bending tests, CB showed greater rupture modules than N and O in the face of *T. versicolor* and greater than O in the case of *G. trabeum*; the deflection capacity of O was less than N and CB in the three fungi. Thus, it was possible to notice that boric acid with copper sulphate has potential efficacy in the treatment of bamboo, requiring more tests to prove it with greater sufficiency. In the phytotoxicity test, all groups tested proved to be very phytotoxic, requiring high dilutions or even a post-treatment of the effluent to minimize the environmental impact of the disposal.

Keywords: Lettuce; CB; CCB; Disposal; Phytotoxicity; Resistance; Sustainability; Treatment; Xylophagous.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Seção de um colmo de bambu e suas denominações	20
Figura 2 - Feixes fibro-vasculares do bambu.....	21
Figura 3 - Distribuição das fibras na parede do bambu: (a) Seção transversal e (b) parede do colmo.	21
Figura 4 - Células parenquimáticas com inclusões de amido.....	22
Figura 5 - Gráfico da energia gasta em MJ para produzir 1 m ³ de alguns materiais por unidade de tensão.....	25
Figura 6 – Semente e morfologia da alface	36
Figura 7 – Entrenós dos colmos pós colheita	37
Figura 8 – Barris de tratamento por imersão dos entrenós de bambu.....	37
Figura 9 - Esquema de corte dos corpos de prova para testes biológicos.....	39
Figura 10 – Corpo de prova analisado por perda de massa	39
Figura 11 - Esquema de corte dos corpos de prova para testes de flexão estática.....	40
Figura 12 - Corpo de prova analisado por perda de resistência mecânica.....	40
Figura 13 – Hifas dos fungos replicados em meio de cultura após 10 dias em BOD...	41
Figura 14 – Frascos com terra pesada e pós esterilização em autoclave	42
Figura 15 – Frascos com as colônias de fungos.....	42
Figura 16 – Frascos com os corpos de prova após o teste de ataque biológico.....	43
Figura 17 – Corpos de prova em dessecadora para pesagem da massa inicial	43
Figura 18 – Corpo de prova em ensaio de flexão estática	45
Figura 19 – Corpo de prova fraturado após ensaio de flexão estática	45
Figura 20 – Seções transversais dos corpos de prova demarcados em papel milimetrado	46
Figura 21 – Contorno de um corpo de prova e suas propriedades físicas no software AutoCAD.....	46
Figura 22 – Valor do módulo de ruptura obtido graficamente	47
Figura 23 – Soluções preservantes preparadas em diferentes concentrações	48
Figura 24 - Placas de Petri com as sementes de alface em solução água destilada	50
Figura 25 – Placas de Petri com as sementes de alface germinadas em solução de CB7 após 5 dias.....	50
Figura 26 – Porcentagem de perda de massa das amostras submetidas ao ataque do <i>T. versicolor</i>	54

Figura 27 – Porcentagem de perda de massa das amostras submetidas ao ataque do <i>G. trabeum</i>	55
Figura 28 – Porcentagem de perda de massa das amostras submetidas ao ataque do <i>P. placenta</i>	55
Figura 29 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo N - <i>T. versicolor</i> ...	59
Figura 30 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo N pós ataque de <i>G. trabeum</i>	60
Figura 31 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo N pós ataque de <i>P. placenta</i>	60
Figura 32 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo O pós ataque de <i>T. versicolor</i>	61
Figura 33 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo O pós ataque de <i>G. trabeum</i>	61
Figura 34 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo O pós ataque de <i>P. placenta</i>	61
Figura 35 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo CB pós ataque de <i>T. versicolor</i>	62
Figura 36 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo CB pós ataque de <i>G. trabeum</i>	62
Figura 37 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo CB pós ataque de <i>P. placenta</i>	62
Figura 38 – Valores de GI (%) para as diluições 1/40 (1), 1/50 (2) e 1/60 (3) de Octaborato.....	65
Figura 39 – Valores de GI (%) para as diluições 1/20 (1), 1/30 (2) e 1/50 (3) de CB..	65
Figura 40 – Valores de GI (%) para as diluições 1/20 (1), 1/30 (2) e 1/50 (3) de CCB	65
Figura 41 – Gráfico dos valores de pH medidos das soluções preservantes nas diferentes diluições.....	68
Figura 42 – Gráfico dos valores de Condutividade elétrica das soluções preservantes nas diferentes diluições	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Grupos de testes avaliados no ensaio de ataque de fungos.....	38
Tabela 2 - Número de corpos de prova do teste acelerado de fungos por grupo de teste	39
Tabela 3 – Grupos de soluções testadas em diferentes concentrações no ensaio de germinação.....	49
Tabela 4 – Valores das médias e Coeficiente de variância da perda de massa e massa residual.....	53
Tabela 5 – Grupos com diferença estatística de MOR dados pelo Teste Tukey-Kramer	54
Tabela 6 – Valores das médias e desvios padrão das características mecânicas das amostras	57
Tabela 7 – Grupos com diferença estatística de MOR dados pelo Teste Tukey-Kramer	58
Tabela 8 – Grupos com diferença estatística de deflexão dados pelo Teste Tukey- Kramer	59
Tabela 9 – Valores dos índices de germinação dos preservantes sob diferentes diluições	64
Tabela 10 – Comprimentos das radículas das sementes nas soluções ensaiados	66
Tabela 11 – Valores medidos de pH e condutividades das soluções ensaiadas	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação de alguns materiais quanto à massa específica.....	24
Quadro 2 - Classificação de resistência em relação à perda de massa do corpo de prova	44
Quadro 3 - Classificação a partir do Crescimento Relativo da Radícula (CRR).....	51
Quadro 4 - Classificação a partir do Índice de Germinação (IG)	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABB – Ácido bórico e bórax

ASTM – American Society for Testing and Materials

BOD – Demanda Química do Oxigênio

CCA – Arseniato de Cobre Cromatado

CCB – Borato de Cobre Cromatado

CRR – Crescimento relativo da radícula

E – Módulo de Elasticidade

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

GA – Germinação absoluta

GI – Índice de germinação

GR – Germinação relativa

ICTE – Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas

LPF – Laboratório de Produtos Florestais

MOR – Módulo de Resistência

SFB – Serviço Florestal Brasileiro

UFTM – Universidade Federal do Triângulo Mineiro

LISTA DE SÍMBOLOS

cm – Centímetro

CA – Concreto Armado

°C – Graus Celsius

GPa – Gigapascal

g – Grama

h – Hora

kg – Kilograma

kg/cm² - Kilograma por centímetro quadrado

kg/m³ – Kilograma por metro cúbico

kPa – Kilopascal

L – Litro

m – Metro

m² – Metro quadrado

min – Minuto

MJ/m³ – Megajoule por metro cúbico

mL – Mililitro

mm – Milímetro

mm⁴ – Milímetro à quarta

mm² – Milímetro quadrado

MPa – Megapascal

N – Newton

SUMÁRIO¹

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	BAMBU COMO MATÉRIA-PRIMA	18
3.2	BAMBU NO BRASIL	18
3.3	CARACTERÍSTICAS DO BAMBU	19
3.4	PROPRIEDADES MECÂNICAS DO BAMBU	23
3.5	ORGANISMOS DEGRADADORES DO BAMBU	25
3.6	CORTE, MANEJO E TRATAMENTO.....	26
3.6.1	Tratamentos naturais.....	27
3.6.2	Tratamento por fogo.....	29
3.6.3	Tratamento por fumaça.....	29
3.6.4	Tratamento químico.....	29
3.6.5	Compostos preservativos	32
3.7	FITOTOXICIDADE	35
4	MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1	GRUPOS EXPERIMENTAIS	38
4.2	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	38
4.3	ENSAIOS BIOLÓGICOS	41
4.3.1	Ataque acelerado de fungos.....	41
4.3.2	Perda de massa	43
4.4	ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS	44
4.5	ENSAIO DE FITOTOXICIDADE	48
4.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	ENSAIO DE DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA	53
5.1.1	Perda de massa	53

¹ - Normas de acordo com as diretrizes do Manual para apresentação de trabalhos acadêmicos baseado nas normas de documentação ABNT da Universidade Federal do Triângulo Mineiro de 2019.

5.1.2	Ensaio de flexão estática	56
5.2	ENSAIO DE FITOXICIDADE.....	63
6	CONCLUSÃO	70
7	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	71
	REFERÊNCIAS.....	72
	ANEXO.....	78

1 INTRODUÇÃO

Após décadas de intensa exploração e desmatamento das florestas, vem surgindo uma maior necessidade na busca por materiais renováveis e soluções alternativas para mitigar e reverter tal processo. No meio disso, o bambu desponta como possibilidade, apresentando-se como recurso altamente renovável, com rápido crescimento, ampla distribuição mundial, baixo custo e fácil obtenção (MATSUOKA, 2011).

Tendo sua aplicação que vai desde a medicina e alimentação até grandes construções e engenharia aeronáutica, o bambu é alternativa não só para a madeira, mas também para vários outros materiais. Dessa forma, a utilização do bambu também se torna interessante para minimizar o impacto econômico e social gerado pela industrialização e para diminuição da pressão causada pela intensa exploração de recursos materiais (HIDALGO-LÓPEZ, 2003).

No entanto, a baixa durabilidade ainda é um dos maiores entraves para o uso do bambu como material de construção. Embora possua boas qualidades mecânicas, o bambu apresenta baixa resistência natural contra a deterioração por organismos xilófagos, como insetos e fungos, que causam desde danos estéticos até o completo apodrecimento do material. Por isso, se faz necessário submeter o bambu a tratamentos preservativos, de maneira a aumentar a resistência biológica, e assim, prolongar sua vida útil (BERALDO *et al.*, 2003).

Atualmente há vários tipos de tratamentos aplicados no bambu, sendo os tratamentos químicos os mais eficazes. A imersão em compostos contendo boro é a mais adotada pelos profissionais de bambu do Brasil, sendo o Octaborato de sódio e o CCB, composto baseado em cobre, cromo e boro, os principais preservantes.

Ambos possuem comprovação científica de razoável eficiência nos tratamentos. No entanto, podem ser economicamente caros e seu descarte pós tratamento pode mostrar-se contaminante ao meio ambiente.

O “CB”, composto baseado em cobre e boro que vem sendo utilizado pelos bambuzeiros brasileiros, pode ser uma alternativa de maior viabilidade econômica e ambientalmente mais amigável que o octaborato de sódio e o CCB.

Dessa forma, neste trabalho o *Dendrocalamus asper* (bambu gigante), espécie de bambu com grande aplicação no Brasil, foi tratado com CB buscando avaliar-se sua eficácia, bem como comparar sua toxicidade no descarte pós tratamento.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho consiste no estudo das propriedades do bambu gigante (*D. asper*) submetidas ao tratamento por imersão em ácido bórico e sulfato de cobre (CB), bem como comparar a toxicidade de seu descarte no meio ambiente com aquele proporcionado por outros preservantes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Tratar os colmos por imersão em “CB” (ácido bórico e sulfato de cobre) e Octaborato dissódico tetraidratado;
- Realizar testes biológicos nos bambus tratados e não tratados;
- Realizar testes de flexão estática nos bambus tratados e não tratados;
- Avaliar o nível de fitotoxicidade dos preservantes CB, CCB e Octaborato de sódio.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BAMBU COMO MATÉRIA-PRIMA

O uso do bambu é uma ideia que não é inovadora, pois existem referências de sua utilização por diferentes culturas em vários segmentos: na culinária (broto de bambu), artesanato, irrigação, paisagismo, na produção de carvão, papel, tecido, móveis, instrumentos musicais, protetor de solo, regenerador ambiental de matas ciliares, contenção de encostas, recuperação de áreas erodidas, produção de ferramentas, mobiliário, moradias e em alguns países sua utilização é normatizada na construção civil (RIBAS, 2010; MARÇAL *et al.*, 2011).

Foi utilizado em grandes invenções: em 1906, Santos Dumont, o pai da aviação, decolou em Paris com seu avião 14-Bis, cuja estrutura era de bambu com juntas de alumínio; nas primeiras bobinas elétricas, Thomas A. Edison, seu inventor, utilizou filamentos carbonizados de bambu; o Taj Mahal, mausoléu situado em Agra, considerado uma das mais importantes obras na Índia, teve sua cúpula inteiramente estruturada em bambu, e apenas nos tempos atuais o bambu foi substituído por metal. Também foi utilizada no desenvolvimento de pontes suspensas, helicóptero, motor a explosão, entre outras (RIBAS, 2010; SOUZA, 2014).

Diferentemente da maior parte do Ocidente, em países orientais o bambu é explorado em diversos segmentos, sendo reconhecido como uma planta ancestral sagrada, presente desde os tempos mais antigos. Governos como o da China (líder na produção mundial de bambu), Japão, Índia, Nepal, Filipinas e Havaí investem em pesquisas científicas em busca de métodos alternativos de utilização do bambu visando o aumento da produtividade agrícola e geração de emprego. Na América do Sul, os nativos de países como Equador, Peru, Colômbia e Chile utilizam o bambu há séculos, tanto em artesanato como na habitação, como casas feitas com bambu que se sustentam há décadas. Existem também nesses países programas de habitação que utilizam bambu, evidenciando que o potencial socializador da planta está cada vez mais sendo percebido como de importância vital no desenvolvimento de países periféricos (RIBAS, 2010).

3.2 BAMBU NO BRASIL

No Brasil ocorrem mais de 240 espécies diferentes da planta, com maior biodiversidade das Américas. Dentre eles, destacam-se as espécies dos gêneros *Bambusa*, *Phyllostachys*, *Dendrocalamus* e *Guadua*. Nesses gêneros os mais utilizados são o Bambu verde (*Bambusa vulgaris*), o Bambu-imperial (*Bambusa vulgaris* variedade *vittata*), o Bambu-comum ou taquara (*Bambusa tuldoides*) Bambu-gigante ou Bambu-balde (*Dendrocalamus asper*),

Bambu-chinês (*Phyllostachys aurea*), o bambu mossô (*Phyllostachys edulis*) e o *Guadua angustifolia*. Estas espécies se encontram principalmente nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, com exceção do gênero *Guadua*, nativas no Acre, onde apresenta grande incidência (RIBAS, 2010; SALGADO, 2014).

No emprego construtivo, a espécie mais utilizada é o *D. asper* (Bambu-gigante com dimensões de diâmetro de colmo de 10 a 20 cm e espessura de parede de 1 a 3 cm). Essa característica possibilita seu uso como pilar, vigas, coberturas e peças individuais em estruturas de maior porte. O *G. angustifolia*, também com dimensões consideradas ideais, e o *B. vulgaris* (bambu comum) são outras espécies bastante empregadas (SOUZA, 2014; MARÇAL *et al.*, 2011).

Porém, há alguns fatores que tornam mais difícil a utilização desse material na construção. Dentre elas destaca-se ainda a falta de parâmetros de cálculo regulamentados, a que se encontra em processo de elaboração no Brasil e que permitirá que a obra seja melhor projetada pelos profissionais responsáveis. Outras questões são a falta de acesso a ferramentas de qualidade e a falta de mão de obra especializada (MARÇAL *et al.*, 2011).

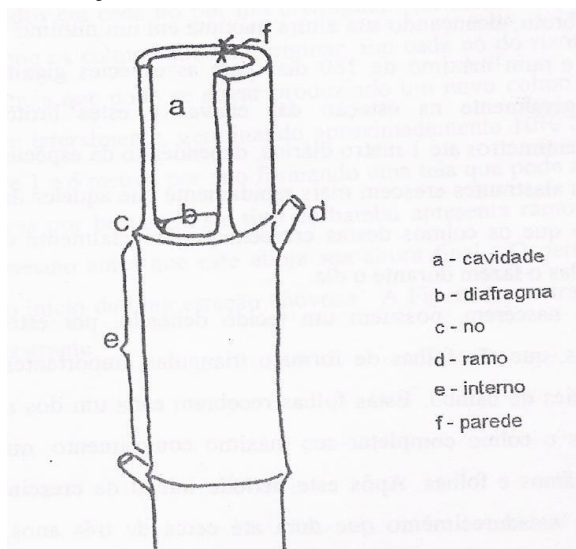
Torna-se importante citar também que a desatenção do governo para os potenciais da planta deixa o país um passo atrás em relação a muitos países com menos recursos naturais e tecnológicos. Isso atrasa o estabelecimento de uma cultura que pode ser, além de benéfica ao meio ambiente, muito lucrativa e capaz de proporcionar desenvolvimento e equidade social. A tradição ibérica colonizadora de construção em alvenaria e pedras é uma das responsáveis por essa característica. A população nativa indígena é a parcela da sociedade que usou o bambu nas vedações de pau-a-pique e nas cúpulas e estruturas das igrejas (RIBAS, 2010; SOUZA, 2014).

3.3 CARACTERÍSTICAS DO BAMBU

O bambu pertence à família das *Gramíneas* arborescentes gigantes, árvores ou arbustos de grama com talos, cujo tecido resistente é composto primordialmente por celulose e lignina. Tal como as árvores, o bambu é constituído por uma parte aérea (tronco ou caule denominado colmo do bambu) e outra subterrânea (raiz e rizoma) (RIBAS, 2010).

Os colmos do bambu se caracterizam por ter a forma cilíndrica tubular e uma sequência de entrenós ocos separados transversalmente uns dos outros por diafragmas que aparecem externamente como nós, de onde saem ramos e folhas (Figura 1) (SOUZA, 2014; MARÇAL *et al.*, 2011).

Figura 1 - Seção de um colmo de bambu e suas denominações



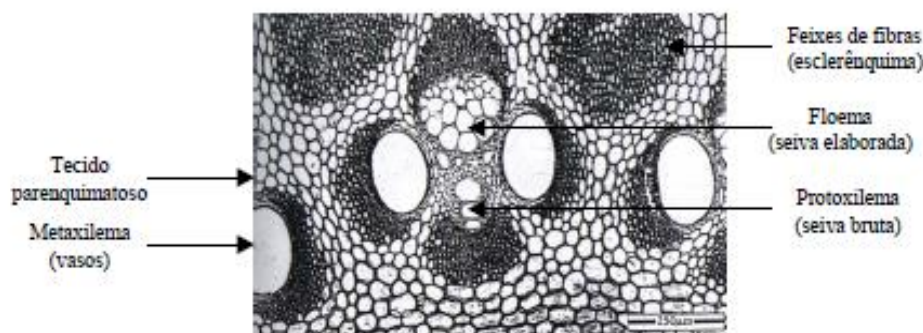
Fonte: Adaptado de Ribas, 2010

Apresentando em torno de 115 gêneros e 1300 espécies espalhadas pela Terra, o bambu é uma gramínea que leva o menor tempo para ser renovada, existindo espécies pequenas, com até 1 m de comprimento, até espécies que chegam a atingir 40 m. Com a maior taxa de crescimento no reino vegetal, em condições normais pode ultrapassar valores de 40 cm diários. Atinge sua dimensão vertical máxima em 40 dias, porém só é usado na construção civil depois de 3 anos, quando se inicia o processo de silificação, conferindo flexibilidade, e lignificação, que aumenta a rigidez do colmo (BARROS, 2004; RIBAS, 2010; SOUZA, 2014).

Quimicamente, o bambu é constituído por celulose e hemicelulose (em torno de 65%) e lignina (18%) e, em menor quantidade, resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos. A composição varia com a espécie, condições de crescimento, posição do colmo e idade. Após a completa maturação a composição química tende a permanecer constante (BERALDO *et al.*, 2003; GUIMARÃES, 2016).

Diferentemente das madeiras, o bambu não possui raios lenhosos. O colmo consiste anatomicamente da superfície exterior, dura e lustrosa, de parênquima, onde os nutrientes são armazenados e dos feixes vasculares (esclerênquima) (Figura 2). Os feixes são compostos de vasos aonde se movimentam água, tubos de seiva e as fibras. O corte transversal denota uma proporção média de 52% de parênquima, 40% de fibras e 8% de tecidos de condução, variando de espécie, idade e posição do colmo (BERALDO *et al.*, 2003; XAVIER, 2004).

Figura 2 - Feixes fibro-vasculares do bambu

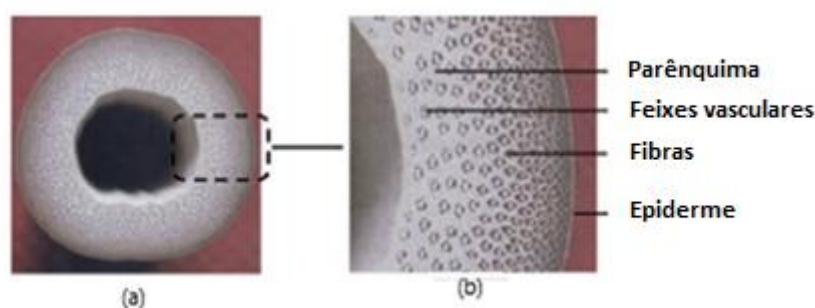


Fonte: Liese, 1998

As fibras constituintes do tecido esclerenquimático agrupam-se em feixes em torno dos vasos condutores. São encontradas majoritariamente nos entrenós (com maior concentração mais próxima à epiderme) e são consideradas longas, estreitas e rígidas devido a sua espessa parede celular. É considerado o componente mais importante do colmo no que se refere à natureza mecânica do bambu. Seu uso vem crescendo, como no reforço de peças de madeira e estruturas cimentícias por conferir boa resistência à tração (SILVA, 2013).

Conforme a Figura 3, na zona mais externa os feixes de fibras são menores e mais numerosos, diferentemente da zona mais interna aonde os feixes são maiores e menos numerosos. Com aumento da altura, o colmo se torna mais delgado com um menor número de feixes e maior massa específica (XAVIER, 2014).

Figura 3 - Distribuição das fibras na parede do bambu: (a) Seção transversal e (b) parede do colmo.



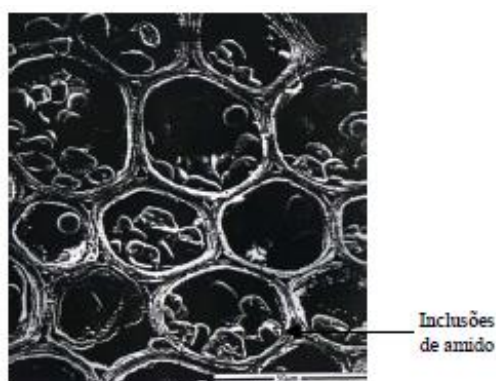
Fonte: Adaptado de Lopez e Correal, 2009

A epiderme, parte externa do colmo, apresenta maior massa específica e alta concentração de sílica, o que confere alta resistência mecânica e proteção aos tecidos lenhosos. Ela ainda é recoberta por uma camada cutinizada de celulose e pectina, formando uma camada cerosa, que funciona como bloqueadora de água. Por apresentar maior durabilidade e maior resistência mecânica, as camadas mais externas do bambu são utilizadas na confecção de

balaios e cestas. Na Ásia, é usada como cabos de sustentação de pontes pênses (BERALDO *et al.*, 2003; SILVA, 2013).

As células de parênquima podem conter elevado teor de amido, nutriente responsável pelo espessamento das paredes celulares, e água (Figura 4). O teor de amido varia com a idade, altura do colmo e ao longo do ano, sendo o teor mais elevado antes da brotação anual. Para espécies entouceirantes, como as espécies dos gêneros *Dendrocalamus* e *Bambusa*, o momento de máximo teor de amido ocorre nos meses de novembro, dezembro e janeiro. Já para as espécies alastrantes, como o gênero *Phyllostachys*, esse momento se dá em julho, agosto e setembro. Diferentemente das fibras, a maior concentração de parênquima se encontra na parte mais interna do colmo. À medida que o colmo envelhece, o teor de umidade também diminui (BERALDO, 2003).

Figura 4 - Células parenquimáticas com inclusões de amido



Fonte: Liese, 1998

Há dois tipos de células parenquimáticas: Células alongadas com paredes mais espessas que lignificam-se com o desenvolvimento do colmo e células mais curtas, com paredes mais delgadas e que não apresentam lignificação mesmo em colmos maduros.

Esses dois elementos configuram alto atrativo aos organismos xilófagos, responsável pela deterioração do colmo. Em colmos jovens não há grande ataque, pois apresentam baixo teor de amido armazenado (BERALDO *et al.*, 2003; SILVA, 2013).

O bambu não apresenta elementos radiais, tendo seu crescimento apenas longitudinal. Porém, os nós promovem a conexão transversal com a parede do colmo via diafragma por meio de uma intensa ramificação de elementos de vasos (BERALDO *et al.*, 2003).

No que diz respeito aos ganhos ao ambiente, esta planta trata-se do maior consumidor de gás carbônico do reino vegetal. Através da fotossíntese confere altas taxas de liberação de oxigênio para a atmosfera e incorporando os gases estufa em seus compostos (BARROS, 2004).

Além disso, o bambu é pouco sensível em relação aos tipos de solo e de clima, se desenvolvendo em solos de diferentes texturas (arenoso, siltoso e argiloso), acidez, umidade e temperatura, com nível médio de fertilidade. Produz colmos assexuadamente, sem a necessidade de replantio após o corte, podendo viver até 100 anos, com grande rendimento anual por unidade de área (em torno de 20 t/ha). São encontrados desde o nível do mar até elevações alpinas, brotando em todos os continentes, com exceção da Europa, tendo preferência por regiões quentes e de abundantes chuvas, como as regiões tropicais e subtropicais da Ásia (64%) e da América (34%) (RIBAS, 2010).

Consegue se recuperar de longos períodos de exposição a situações críticas, como aconteceu após a destruição de Hiroshima pela bomba atômica. Os bambus resistiram e foram as primeiras plantas a aparecerem no árido cenário pós-guerra. Por essas características, verifica-se a potencialidade como meio alternativo de reflorestamento e florestamento em curtos espaços de tempo (BARROS, 2004; SOUZA, 2014).

3.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DO BAMBU

O bambu possui excelentes propriedades mecânicas, juntando altos valores de resistência à tração e boa flexibilidade. O teor de fibras é o fator principal, sendo influenciada por uma gama de características como espécie, idade de corte, teor de umidade na composição, e principalmente com a massa específica aparente. Dessa forma, quanto melhor for o tratamento e a secagem aplicados nos colmos, maior serão as resistências mecânicas, rendimento estrutural e eficiência (BARROS, 2004; GUIMARÃES, 2016 apud LIESE, 1985).

Berndsen (2013), em seu estudo com o Bambu-mossô, pôde perceber a variação da resistência mecânica em diferentes posições do colmo. As resistências à compressão paralela às fibras, módulo de ruptura e módulo de elasticidade mostraram tendência ao aumento conforme se acresce a posição vertical do colmo. Em Pereira (2012) foi relatado que a porção mais resistente da parede do colmo é o terço externo, por haver nele maior concentração de fibras e os nós conferem maior resistência mecânica e flexibilidade ao colmo.

Para esforços de tração longitudinal, paralela às fibras, a resistência do bambu é consideravelmente alta. Isso ocorre devido à disposição das fibras serem orientadas ao longo do eixo de crescimento do colmo. O valor de resistência à tração paralela às fibras fica compreendido entre 40 MPa e 215 MPa, podendo chegar a 370 MPa em algumas espécies. O aço MR50 possui tensão de escoamento de 250 MPa e 43 madeiras ensaiadas pelo Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) – Universidade de São Paulo – mostraram valores variando entre 58,1 MPa a 139,2

MPa. Isso mostra a capacidade do bambu de resistir a esse tipo de esforço e que poderia, portanto, satisfatoriamente substituir a madeira e o aço (BARROS, 2004; SOUZA, 2014).

Já para esforços de compressão paralela às fibras, o bambu perde em torno de 30% de resistência em relação à tração na mesma direção, admitindo-se um valor entre 20 MPa e 120 MPa. As análises da resistência à compressão paralela às fibras das madeiras realizadas pelo LaMEM mostram que os valores dessa propriedade estão compreendidos entre 31,5 MPa e 95,2 MPa. Para o concreto, a resistência característica comum varia em torno de 18 MPa e 30 MPa. Dessa forma, é possível vislumbrar-se uma possível substituição da madeira e do concreto pelo bambu, resguardando sempre a esbeltez do elemento estrutural, verificando a possibilidade de falha por flambagem (BARROS, 2004; SOUZA, 2014).

Para a flexão, os esforços admitidos encontram-se entre 30 e 150 MPa, o Módulo de Elasticidade varia entre 6 e 14 GPa e o Módulo de Ruptura de 57 a 133 MPa. A estrutura que torna possível esse nível de resistência são os nós (diafragma) (SOUZA, 2014).

De modo similar, foram obtidos valores que variam de 8 MPa e 32 MPa para esforços de cisalhamento longitudinal e transversal às fibras, respectivamente. Para madeiras, tal resistência situa-se entre 5,6 MPa a 15,7 MPa. Novamente o bambu se mostra capaz de substituir elementos estruturais de madeira (BARROS, 2004).

A dureza axial (paralela às fibras) se mostra superior às demais (radial e tangencial). Tal característica demonstra o papel das fibras na resistência e tal característica é explorada na China e na Colômbia como qualificação do bambu para produção de pisos (PEREIRA & BERALDO, 2016).

No que diz respeito à massa específica, o bambu apresenta uma grande vantagem em relação aos materiais convencionais, como pode-se observar no Quadro 1. Devido à estrutura oca, há redução do peso próprio dos componentes estruturais, minimizando custos em todo processo construtivo (BARROS, 2004).

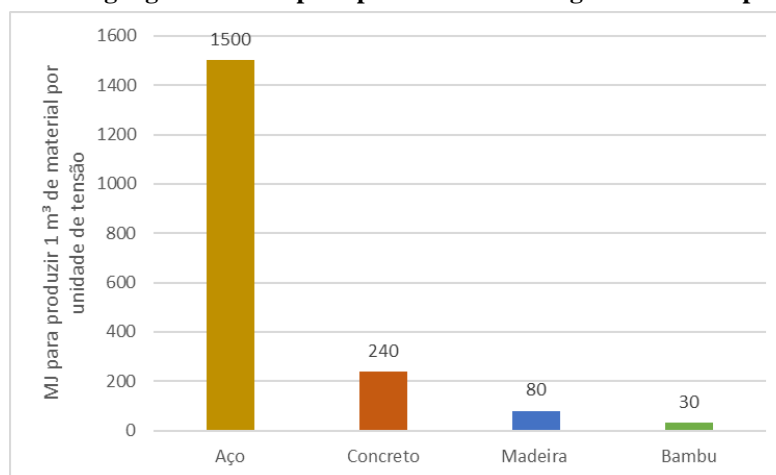
Quadro 1 - Comparação de alguns materiais quanto à massa específica

Materiais	Massa específica (kg/m³)
Aço	7850
Concreto Simples	2400
Concreto Armado	2500
Tijolo Maciço	1800
Madeira (Ipê)	1068
Bambu	680

Fonte: Adaptado de Barros, 2004

Há de se destacar também o consumo energético necessário para a produção do material. Se comparado a materiais convencionais, como o aço, o concreto e a madeira, a produção de bambu requisita uma das menores quantidades de energia para um mesmo volume de material, como mostra a Figura 5. Essa característica destaca seu grau de viabilidade econômica (BARROS, 2004).

Figura 5 - Gráfico da energia gasta em MJ para produzir 1 m³ de alguns materiais por unidade de tensão



Fonte: Adaptado de Barros, 2004

3.5 ORGANISMOS DEGRADADORES DO BAMBU

De modo similar à madeira, o bambu está sujeito à ação de agentes biológicos que deterioram sua composição lignocelulósica. São relatadas mais de 800 espécies identificadas como pragas que atacam o bambu em países asiáticos, sendo os principais os fungos e os insetos xilófagos (TIBURTINO, 2012).

Espelho (2007) afirmou que os fungos afetam a resistência mecânica do bambu, alterando as propriedades físicas e químicas das paredes celulares, produzindo sua decomposição. Os fungos atacam madeiras com umidade acima do ponto de saturação das fibras (25%).

O mesmo autor atestou que os dois principais tipos de fungos que atuam dessa forma são os fungos de podridão-branca (*Trametes versicolor*), que atacam a lignina, substância que mantém as células unidas e os fungos de podridão-parda (*Gloeopgyllum trabeum*), que atacam a celulose.

Segundo Tiburtino (2012), a principal característica que prenuncia o ataque de insetos é a presença de um pó de textura fina. Dentre os insetos que atacam madeiras e bambu, destacam-se:

- Insetos coleópteros: são perfuradores de cabeça redonda e lisa, que atacam madeira e bambu cortados. No bambu, eles se reproduzem através de ovos depositados nos poros do material, os quais se desenvolvem se alimentando do amido presente nos colmos para completar seu ciclo e causam mais danos. O maior representante deste grupo é o caruncho ou broca (*Dinoderus minutus*);
- Cupins ou térmitas: Cupins de terra ou cupins de madeira seca atacam madeiras com teor de umidade abaixo de 20%;
- Formigas carpinteiras: Utilizam a madeira como habitação, após perfurá-las;
- Furadores marinhos: são larvas ou moluscos que perfuram para penetrar na madeira e com seu desenvolvimento o orifício aumenta para dar lugar à passagem do inseto.

3.6 CORTE, MANEJO E TRATAMENTO

Diferentemente de algumas madeiras, os bambus não produzem substâncias tóxicas à medida que envelhecem, o que contribui para redução de sua resistência natural frente ao ataque de organismos xilófagos (LIESE, 2004).

A durabilidade talvez seja a maior questão da utilização de materiais fibrosos como madeira e bambu. O bambu, como a madeira, possui baixa resistência ao ataque de agentes deteriorantes, o que pode tornar economicamente inviável devido sua baixa vida útil. Adoções como a escolha da época adequada para o corte, manejo periódico do bambuzal, tratamento preventivo adequado e armazenamento apropriado permitem que seja obtido maior resistência ao ataque dos organismos xilófagos, dando assim maior durabilidade ao bambu (ESPELHO, 2007; MATSUOKA, 2011).

O corte dos colmos deve ser feito preferencialmente em períodos mais secos, quando os insetos estão menos ativos fisiologicamente. Recomenda-se também que o corte seja feito ao alvorecer (TIBURTINO, 2012).

Existe uma forte crença popular de que o corte do bambu deve ser feito no período da lua minguante de modo a evitar ou mitigar o ataque dos insetos xilófagos. Porém, não foram encontradas evidências científicas que comprovem a influência da lua (BERALDO *et al.*, 2003).

Sarlo (2000) estudou a influência das fases da lua e os meses propícios para a realização do corte de algumas espécies de bambu e avaliou a resistência ao inseto *D. minutus* quantificando o número de furos produzidos pelo ataque. O autor constatou que de modo geral a lua cheia apresentou-se como melhor fase para se fazer o corte, embora haja bastante variação ao longo do ano e de espécie para espécie.

O mesmo autor ainda percebeu maior intensidade de ataques nos meses de julho e agosto, período considerado frio, popularmente indicado como um bom momento para a colheita. Dessa forma, há a necessidade de se fazer mais estudos quanto à influência do momento de corte.

Os colmos devem ser preferencialmente colhidos com idade de 3 a 6 anos, quando se tem menos carboidratos solúveis e proteínas, variando de acordo com aplicação pretendida. É importante nessa fase de maturação que o bambu esteja completamente lignificado, principalmente se a utilização do bambu for estrutural (BERALDO *et al.*, 2003; MATSUOKA, 2011).

Torna-se importante também realizar o corte anualmente de forma a manejar a touceira evitando-se congestionamento de colmos e deixando-as em bom estado de desenvolvimento.

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

Dentre as técnicas usuais de tratamento podem ser citadas: natural; por fogo; por imersão; e químicas, sendo estas últimas as mais eficazes. A escolha das aplicações varia de acordo com a espécie de bambu utilizada e o nível de durabilidade e resistência requeridos (BARBOZA, 2008; SOUZA, 2014).

3.6.1 Tratamentos naturais

Os tratamentos naturais são métodos de baixo custo e execução, porém usualmente sua eficiência é questionada. Dentre eles tem-se a maturação no local da colheita, a imersão em água, banho quente-frio com água, fumigação e secagem (MATSUOKA, 2011; TIBURTINO, 2012).

- *Maturação no local da colheita*

Maturação é o intervalo de tempo passado entre o corte do colmo e a queda das folhas. Nesse processo, os colmos são cortados e deixados com ramos e folhas na própria touceira apoiados verticalmente sem contato com o solo, preferencialmente sobre colmos remanescentes. O período de permanência varia de sete dias a um mês (ESPELHO, 2007).

Esse procedimento permite que o processo de assimilação da seiva continue reduzindo o teor de amido presente no colmo. Na impossibilidade de as folhas realizarem a fotossíntese, o amido contido nas células parenquimáticas é consumido por fermentação (BERALDO *et al.*, 2003).

A cura na mata apresenta resultados razoáveis, conservando a cor do bambu, aumentando a proteção contra o ataque do caruncho, porém não é tão eficaz quanto ao ataque de fungos e cupins. Há estudos que demonstraram que bambus curados na mata foram 91,60% menos atacados do que os não curados. Na Colômbia e Equador, esse tipo de tratamento é chamado de “avinagrado” (ESPELHO, 2007).

- *Imersão em água (Banho frio)*

A imersão em água é um dos métodos de tratamento mais utilizados na América Latina (TIBURTINO, 2012).

Após a colheita, os colmos são submersos em água por um período que varia de 4 a 7 semanas. Então ocorre um processo de fermentação anaeróbica, que reduz ou elimina o amido presente, mitigando o ataque dos organismos xilófagos (BERALDO, 2003).

A imersão pode ser em locais de água corrente como riachos e água estagnada (lagoas ou tanques). No entanto, a imersão em água estagnada é considerada um processo mais eficiente, pois a degradação enzimática do amido é mais intensa do que sua extração, feita pela água corrente (BERALDO, 2003).

A utilização de água quente e/ou soluções alcalinas (utilizando cal, por exemplo) favorece o processo de extração do amido, verificando-se melhoria na resistência contra fungos (ESPELHO, 2007).

- *Banho quente-frio com água*

Os colmos são submersos em um tanque de água aquecida a 90 °C por 30 min e após isso são resfriados em banho frio por algumas horas. Então são secados naturalmente em local sombreado.

A razão para o uso de água quente é o fato de o amido aumentar a solubilidade em água quando a temperatura for superior a 65 °C, sendo então decompostos termicamente e eliminados (ESPELHO, 2007).

- *Imersão em água salgada*

Apesar de não se saber como agem os componentes da água marinha, como o cloreto de sódio, a imersão de colmos em água salgada do mar denotou um aumento na durabilidade da *B. vulgaris*. Esse estudo foi citado por Espelho (2007), comentando-o como um teste promissor.

3.6.2 Tratamento por fogo

Quando submetidos a aquecimento em fogo direto, a seiva dos colmos recém-cortados é eliminada por exsudação. O amido é degradado quimicamente, tornando-se menos atraente aos xilófagos.

Nos bambus do gênero *Phyllostachys*, como o cana-da-índia e o bambu mossô, é utilizado esse procedimento com fogo. Nessas espécies, o aquecimento provoca o surgimento de uma coloração parda brilhantes semelhante a um verniz, conferindo valor estético em móveis e artesanatos em geral. Essa característica não é apresentada em espécies entouceirantes como o bambu gigante e o bambu imperial (BERALDO *et al.*, 2003).

3.6.3 Tratamento por fumaça

Os colmos são submetidos à ação do calor e da fumaça por 20 min, com temperatura variando de 120 °C a 150 °C, degradando o amido e formando produtos tóxicos na superfície externa dos colmos, atraindo menos os organismos deteriorantes. Trata-se de um processo semelhante à defumação de alimentos.

Esse processo torna os colmos enegrecidos e ocasiona grande ocorrência de rachaduras, fazendo com que essa técnica não seja tão eficiente. Os bambus do gênero *Phyllostachys* costumam receber esse tipo de tratamento (BERALDO *et al.*, 2003).

3.6.4 Tratamento químico

Os tratamentos químicos são considerados os mais eficazes no aumento da durabilidade do bambu. No entanto, tendem a ser maléficos ao meio ambiente, pois são utilizadas substâncias tóxicas, necessitando um maior cuidado em seu manuseio, aplicação e descarte (MATSUOKA, 2011).

Segundo o mesmo autor, também há o pincelamento, transpiração das folhas, aspersão ou pulverização, banho quente-frio com preservativo químico, autoclave, imersão, Boucherie e Boucherie modificado e outros.

- *Transpiração das folhas*

Esse método, não muito difundido, os colmos são colocados imediatamente em um tambor contendo conservante com a parte basal do colmo imersa na solução. Os galhos e folhas continuam a desempenhar suas funções vitais mesmo após o corte, fazendo assim a sucção do conservante por meio da transpiração (TIBURTINO, 2012).

Os colmos utilizados de até 2,50 m respondem razoavelmente ao tratamento. Os fenômenos que provocam a ascensão da solução são a difusão e a capilaridade (TIBURTINO, 2012).

- *Pincelamento*

Neste método, basicamente pincela-se o colmo com substâncias preservativas. Juntamente com o método de aspersão ou pulverização, não apresentam resultados satisfatórios, pois a camada externa dos colmos é praticamente impermeável e não é a superfície quem sofre o maior ataque biológico (ESPELHO, 2007).

- *Vaporização*

Consiste na ação de substâncias aquecidas em contato com o bambu. Essas substâncias usualmente são sulfato de cobre e cromato de zinco, seguido de dicromato de sódio (ESPELHO, 2007).

- *Fumigação ou Defumação*

Resíduos vegetais como pó-de-serra de madeira e bambu são queimados, liberando substâncias tóxicas que impregnam os tecidos do bambu. O tratamento dura 20 min para temperaturas de 120 °C a 150 °C e torna os colmos mais escuros (ESPELHO, 2007).

Existem pesquisadores que afirmam que se trata apenas de um método curativo, erradicando apenas alguma deterioração que porventura esteja em andamento (ESPELHO, 2007).

- *Imersão (Banho frio)*

Nesse método, os colmos são imersos em soluções químicas, nas quais utilizam-se conservantes principalmente hidrossolúveis. São geralmente feitos em lugar abrigado com temperatura ambiente ou temperatura controlada e pode ser feito horizontalmente ou verticalmente, invertendo-se a posição das bases dos colmos (TIBURTINO, 2012).

A duração do tratamento depende de fatores como a espécie de bambu, das dimensões dos colmos e da concentração da solução, sendo que a duração média é de uma semana para colmos inteiriços e de três dias para bambu na forma de taliscas (ESPELHO, 2007; TIBURTINO, 2012).

A imersão a frio em sais é considerada a forma mais simples, barata e com boa eficiência dos tratamentos químicos. O tratamento é responsável pelo aumento em média de 30% do preço do bambu (BERALDO, 2013).

- *Banho quente-frio*

No banho quente-frio, os colmos são colocados em solução preservativa aquecidas de 90 °C a 100 °C. O aumento da temperatura diminui a viscosidade do óleo, expande o ar das células do bambu, libertando a água das camadas exteriores do bambu. Após isso, é feito o resfriamento (banho frio) que contrai o ar remanescente com consequente formação de um pequeno vácuo, aonde o preservativo é absorvido (ESPELHO, 2007).

Os colmos então são colocados verticalmente para se recolher o excesso do produto preservativo. Neste tratamento é recomendado o uso de substâncias oleossolúveis (ESPELHO, 2007).

- *Autoclave*

De modo similar às madeiras, é feito um processo de vácuo ao longo do colmo, que deve ter seus diafragmas perfurados. É interessante também submeter o bambu a algum tipo de tratamento preventivo anterior, pois para se iniciar o processo de autoclave, as peças precisam estar secas ao ar. Sendo assim, esse método seria melhor aplicado em taliscas (ESPELHO, 2007).

- *Substituição de seiva*

Também chamado de Método de Boucherie, consiste em substituir a seiva de colmos recém-cortados (no máximo 12 h após o corte) por substâncias preservativas. A solução é colocada na extremidade do colmo, de onde penetra ao longo da parede, empurrando a seiva para a outra extremidade. Geralmente usam-se tambores plásticos para preparar a solução e colocá-la na vara (ESPELHO, 2007; BERALDO *et al.*, 2013).

À medida que se evapora a água da seiva, a solução preservativa a substitui. Esse movimento da solução se dá por difusão na direção radial e capilaridade na direção axial (BERALDO, *et al.* 2013).

É um processo eficiente para colmos de até 2,50 m de comprimento e sua eficiência depende de fatores como a substância preservativa e sua respectiva concentração, espécie de bambu e tempo decorrido entre o corte e tratamento (ESPELHO, 2007).

- *Boucherie Modificado*

Trata-se de um aprimoramento do método de Boucherie de forma a torná-lo mais rápido e, assim, comercialmente aplicável. Nesse tratamento passa-se o preservativo sob pressão hidrostática no colmo por meio dos vasos até que saia na outra extremidade. Utiliza-se usualmente cloreto de zinco a 8% adicionado a 2% de dicromato de sódio (TIBURTINO, 2012; BERALDO, *et al.* 2013).

É indicado que essa prática deva ser feita dentro de, no máximo, 24 h após a colheita utilizando-se pressão de 1,0 bar e 1,3 bar. Geralmente dura entre 30 a 60 min, quando ocorre gotejamento da solução na outra extremidade, momento em que a solução efluente apresenta concentração suficientemente elevada (TIBURTINO, 2012).

Para madeiras em geral os métodos de impregnação com pressão superior à atmosfera são os mais eficientes. Eles oferecem melhor distribuição e penetração do preservativo, além de exercerem um maior controle do volume de penetrante absorvido (ESPELHO, 2007).

O processo é considerado ambientalmente sustentável, com grande eficiência, porém há o custo de um equipamento específico e de sua manutenção e não se aplica em bambus de paredes de pequena espessura, pois pode ocorrer explosão dos colmos devido às altas pressões (ESPELHO, 2007).

3.6.5 Compostos preservativos

Compostos preservativos ou preservantes são substâncias químicas aplicadas em madeiras e bambus com o intuito de protegê-las contra o ataque de organismos xilófagos e, assim, aumentar sua durabilidade. Tais substâncias devem penetrar nos vasos para que cheguem nas células parenquimáticas (aonde está o amido) e então se difundir pelas células vizinhas para que o tratamento se efetue corretamente (MATSUOKA, 2011).

De acordo como Liese (2004), as principais vias para qualquer penetração são os vasos localizados nas extremidades dos colmos orientados na direção axial e intercalados pelo tecido parenquimático tornando-se interconectados na região do nó. O internó não apresenta vias radiais para o transporte de soluções no sentido transversal, diferentemente das células dos raios nas madeiras. A movimentação horizontal da solução preservativa, do vaso ao tecido de parênquima e fibras, é efetuada por difusão, processo muito lento (LIESE, 2004)

Dentre as características essenciais para um produto ser considerado um bom preservativo são: segurança quanto à toxicidade em relação a animais e plantas e não ser inflamável; baixa volatilidade ou lixiviabilidade, fornecendo permanência no colmo; não provocar corrosão em metais; não alterar as propriedades físicas e mecânicas do material; eficiência na proteção

contra o ataque de organismos xilófagos; manter uma alta retenção ao longo dos anos; e ser econômico (SILVA, 2008).

Contudo, um composto que reúna todas essas qualidades esperadas é difícil de se encontrar no mercado, motivo pelo qual deve-se buscar o equilíbrio entre impacto ambiental, custo e eficiência (MATSUOKA, 2011).

Os preservativos são classificados em hidrossolúveis, oleosos ou oleossolúveis, de acordo com sua solubilização em água ou óleo, podendo admitir proteção temporária (até 6 meses) e de proteção prolongada (ESPELHO, 2007).

- *Oleossolúveis*

São preservativos de caráter oleoso, que geralmente utilizados na madeira ou bambu quando este tiver contato com o solo. Dentre eles tem-se:

- Creosoto: Trata-se de um subproduto da destilação da hulha, fração que sedimenta, ficando em estado pastoso. É tradicionalmente utilizado na preservação da madeira. Por apresentar alto teor de fenóis, é repelente à água, resistente à lixiviação evitando a poluição dos solos e do lençol freático, e é tóxico ao ataque dos organismos xilófagos (TIBURTINO, 2012).

- Pentaclorofenol e Triclorofenol: o Pentaclorofenol é um fungicida caracterizado como um fenol clorado, insolúvel em água e de caráter ácido. É considerado um dos mais eficientes preservativos na proteção da madeira, porém é altamente tóxico ao meio ambiente e ao homem, com volatilidade e solubilidade em água, tendo seu uso banido pelo IBAMA. O Triclorofenol é um substituto menos agressivo (MATSUOKA, 2011).

- *Hidrossolúveis*

Os preservativos hidrossolúveis são compostos por sais que em solução aquosa penetram nos elementos anatômicos reagindo com a lignina formando compostos poliméricos insolúveis da parede celular e atuam como inseticida (TIBURTINO, 2012).

Devido às questões ambientais em relação ao petróleo, esse tipo de preservativo vem sendo mais popularizados (ESPELHO, 2007).

- CCA (Arseniato de Cobre Cromatado): Considerado o melhor tratamento de madeiras por seu alto poder de fixação, é um polêmico preservativo. É responsável por causar efeitos diversos ao ambiente em sua lixiviação e à saúde humana. Por causa disso, tem sofrido várias restrições e proibições ao longo do planeta (MATSUOKA, 2011).

- CCB (Borato de Cobre Cromatado): É um conservante advindo da mistura de sulfato de cobre, ácido bórico e dicromato de potássio, considerado um pouco menos eficaz que o CCA.

Na tentativa de substituir o arsênio pelo boro, se tornou menos nocivo ao operador e ao ambiente (MATSUOKA, 2011; TIBURTINO, 2012).

- Sulfato de cobre e Cloreto de zinco: São sais altamente ácidos, que oferecem proteção limitada e podem provocar corrosão nos metais (TIBURTINO, 2012).
- ABB (Ácido bórico e bórax): O ABB é a combinação do ácido bórico com bórax (borato de sódio). Ele é um penetrante que diferentemente do CCB não utiliza metais pesados em sua composição. Este vem sendo bastante empregado no tratamento por imersão no Brasil. Seu inconveniente é a alta lixiviação do boro (MATSUOKA, 2011).
- Outros compostos que contém boro: Além do ABB, existem várias outras formulações que contém boro no tratamento preventivo do bambu. Eles em geral baseiam-se na difusão do boro para o interior do material lignocelulósico. São considerados atualmente como os melhores preservativos, devido a seu bom custo benefício e baixa toxicidade aos mamíferos, ao contrário do que ocorre com os insetos e fungos. Porém, existem dois grandes inconvenientes: deve-se ter cuidado com o descarte da solução, sendo necessárias grandes diluições em água para tirar sua toxicidade ao ambiente; além disso, apresentam grande solubilidade em água, tendo grande potencial de lixiviação. Dentre eles há o Octaborato dissódico decahidratado, que também é bem difundido no Brasil (ESPELHO, 2007; CALEGARI *et al.*, 2014). O bambu tratado com produtos à base de boro apresenta o inconveniente de não poder ser colocado em ambientes que não estejam protegidos das intempéries, devido ao risco de ocorrer lixiviação (LIESE, 2004).
- Ácido Pirolenhoso: Também chamado de extrato pirolenhoso ou vinagre de madeira, trata-se de um subproduto na produção de carvão vegetal, obtido pela recuperação e condensação dos gases voláteis envolvidos no processo. Ele é composto por água, ácido acético, cetonas, fenóis e alguns derivados de lignina. É um preservativo novo promissor no controle de pragas e doenças (MATSUOKA, 2011).
- ASAM: (anidrido succínico de alquilato de metila) é um derivado do óleo de canola que transforma a celulose em éster de celulose que os insetos xilófagos não conseguem consumir. É tóxico e sua disponibilidade não é tão fácil (ESPELHO, 2006).
- Outros preservantes: Ultimamente têm surgido pesquisas com o intuito de substituir ou diminuir o uso dos produtos químicos geralmente utilizados por outros que sejam menos agressivos ao meio ambiente. Nesse meio, destaca-se o tanino, com razoáveis resultados em testes de preservação em madeiras e recentemente no bambu da espécie *P. aurea*, configurando assim uma possibilidade de futuros estudos (XAVIER, 2004). Há também relatos de uso da planta indiana Nim (*Azadirachta indica*), sem resultados satisfatórios (ESPELHO, 2006).

Segundo Tiburtino (2012), a maioria dos estudos a respeito do tratamento do bambu tem sido com o CCB. Seja por imersão, substituição de seiva ou método Bolcherie, este produto tem ganhado notoriedade por ter boa eficiência e por trocar o arsênio da formulação original CCA pelo boro, menos nocivo à saúde do operador e do meio ambiente.

No CCB, o cromo tem a função de auxiliar na fixação do boro e do cobre no colmo, com o objetivo de evitar a lixiviação. O boro atribui o caráter inseticida e o cobre, por sua vez, é fungicida (SILVA, 2008).

No entanto, no ambiente profissional brasileiro do bambu, é muito comum o uso de uma vertente diferente do CCB. Tem sido deixado de lado o cromo, usando-se apenas o ácido bórico juntamente com o sulfato de cobre. Isso acontece pelo fato de os dicromatos necessitarem um maior cuidado com manuseio e descarte, pois trata-se de um produto com certa toxicidade, além de baratear o produto preservante.

Nesse meio, se faz necessário o estudo da eficiência do “CB” (ácido bórico e sulfato de cobre) no tratamento preservativo do bambu, bem como compará-lo com o CCB.

3.7 FITOTOXICIDADE

Os tratamentos químicos possuem maior eficiência e são os mais utilizados no Brasil. Em geral impregna-se uma solução preservante, geralmente baseada em boro no material, por imersão ou pressão. O CCB, composto de boro, cromo e cobre, e Octaborato de sódio são os mais populares (PEREIRA & BERALDO, 2016), sendo o CB, preservante baseado em boro e cobre, muito utilizado pelos profissionais de bambu, porém sem muito estudo quanto à sua eficiência.

A grande questão desse tipo de tratamento é o descarte da solução preservante na natureza. Ainda não se sabe o nível de impacto ou os níveis de concentração e diluição plausíveis para o descarte no meio ambiente.

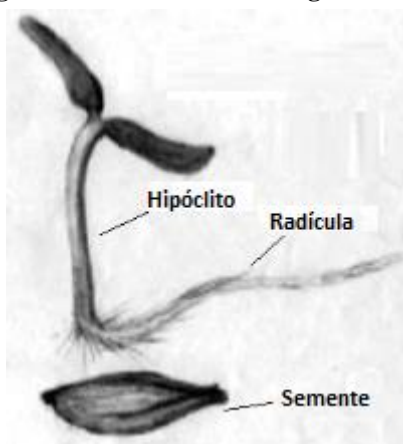
Características toxicológicas devem ser checadas antes de ser despejado nos solos e rios, pois compostos tóxicos podem causar feitos adversos na germinação de sementes, crescimento das plantas e no ambiente do solo. Assim, ensaios de toxicidade se mostram como uma alternativa para se testar quão nocivo é algum efluente (LUO *et al.*, 2018).

No processo de germinação, ocorrem inúmeros processos fisiológicos nos primeiros dias de crescimento da planta, que dependem de fatores externos (ambientais) e internos (dormência, inibidores). A presença de algo tóxico pode interferir na sobrevivência

possivelmente inibindo tanto a germinação quanto o desenvolvimento normal da planta (SOBRERO & RONCO, 2004; BRITO, 2010).

A inibição do crescimento da planta pode ser notada pela diminuição no processo de alongamento da radícula e/ou do hipóclito, órgãos iniciais no desenvolvimento da planta. A Figura 6 mostra a semente e a morfologia da alface (*Lactuca sativa*) (SOBRERO & RONCO, 2004).

Figura 6 – Semente e morfologia da alface



Fonte: Adaptado de Sobrero e Ronco, 2004

Dessa forma as sementes apresentam-se como uma boa possibilidade para serem utilizadas em ensaios toxicológicos e assim, avaliar a qualidade de um efluente (BRITO, 2010). Bellato *et al.* (2015) avaliou a fitotoxicidade de um efluente textil pós tratamento fúngico em sementes de alface e sorgo e obteve resultados satisfatórios quanto a diminuição da toxicidade. Neste, ele apresenta o teste germinativo como um ótimo parâmetro por conta de sua sensibilidade diante do efluente.

Peduto *et al.* (2019) também utilizou destes ensaios para testar a sensibilidade de sementes de diferentes espécies frente à água e ao dicromato de potássio. Juntamente com *Sinapis alba*, a *L. sativa* se mostrou sensível ao controle negativo, confirmando tais sementes como biondicadores de fitotoxicidade. Ela destaca também como vantagens do teste a simplicidade na realização do ensaio e o baixo custo.

Corroborando isto, Palácio *et al.* (2012) afirmou que o alface mostra-se capaz de se desenvolver em meio potencialmente tóxico. No entanto, apresenta efeitos letais, com a inibição da germinação, e sub-letais, na inibição do desenvolvimento das raízes e das radículas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi utilizado o bambu da espécie *D. asper* (bambu gigante). Os colmos apresentavam de três a quatro anos de idade, caracterizados pela presença de manchas brancas no colmo (PEREIRA & BERALDO, 2016, e foram coletados em touceiras situadas nas redondezas do município de Uberaba (Minas Gerais).

Foram coletados cinco colmos no mesmo dia, a partir de uma altura de 20 cm do solo, logo acima de um dos nós, de forma a evitar entrada de água, que causa o posterior apodrecimento do colmo e do rizoma. (TIBURTINO, 2016). Eles tiveram seus nós cortados e descartados, de forma a se obter peças de entrenós, como mostra a Figura 7. Estes entrenós foram colocados dentro de barris de 200 L para receberem o tratamento por imersão sob diferentes soluções e concentrações (Figura 8).

A parte basal dos colmos extraídos foi a parte utilizada para os testes, sendo aproveitado os 2,5 m iniciais.

Figura 7 – Entrenós dos colmos pós colheita



Fonte: Do autor, 2019

Figura 8 – Barris de tratamento por imersão dos entrenós de bambu



Fonte: Do autor, 2019

4.1 GRUPOS EXPERIMENTAIS

Após o rompimento do diafragma, os bambus passaram por diferentes processos de tratamento (com exceção da parcela testemunha – Grupo N). O período de imersão foi de sete dias.

- a) Grupo CB1: Imersão em ácido bórico a 1% e sulfato de cobre a 0,5%;
- b) Grupo CB2: Imersão em ácido bórico a 2% e sulfato de cobre a 1%;
- c) Grupo O: Imersão em Octaborato dissódico Tetraidratado a 5%;
- d) Grupo N: Grupo controle.

Por se tratar de um composto hidratado, foi feita uma correção estequiométrica de forma a descontar a água já contida no Octaborato. Dessa forma, adotou-se a concentração de 6,05%.

A Tabela 1 organiza os agrupamentos dos colmos a serem ensaiados.

Tabela 1 - Grupos de testes avaliados no ensaio de ataque de fungos

Tratamento	Grupo experimental
Controle (não-tratado)	N
Ácido Bórico 1 % + Sulfato de Cobre 0,5%	CB1
Ácido Bórico 2 % + Sulfato de Cobre 1%	CB2
Octaborato dissódico tetraidratado 5%	O

Fonte: Do autor, 2019

Todos os cuidados foram tomados ao longo do uso dos materiais químicos utilizados, sendo manuseados com todos os Equipamentos de Proteção Individual necessários: luvas e máscaras.

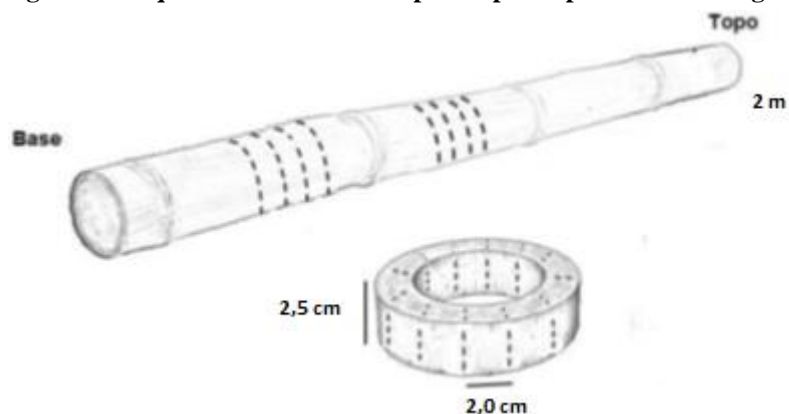
Após o tempo de tratamento, os colmos foram deixados para secagem em uma sala seca e sombreada por um período de 21 dias. O passo seguinte foi a confecção dos corpos de prova.

4.2 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A análise da bioterioração foi feita de duas formas: a primeira a partir da perda de massa ocorrente e a segunda pela perda de resistência mecânica por meio de ensaios de flexão em três pontos.

Toda a amostragem foi feita na forma de taliscas para facilitar o ataque de organismos xilófagos. As amostras analisadas por perda de massa tiveram as dimensões de 2,0 cm x 2,5 cm x espessura natural do colmo, adaptado da norma ASTM D 2017 (2005) (Figuras 9 e 10).

Figura 9 - Esquema de corte dos corpos de prova para testes biológicos



Fonte: Adaptado de Sales-Campos *et al.*, 2003

Figura 10 – Corpo de prova analisado por perda de massa



Fonte: Do autor, 2019

Foram confeccionados 120 corpos de prova, dos quais 30 foram destinados a cada grupo de teste (4 grupos no total) (Tabela 2). Os grupos que passaram por este teste foram: N, CB1, CB2 e O. Todas as amostras foram submetidas ao ataque de fungos xilófagos de forma a verificar e analisar a resistência biológica do bambu e os efeitos dos respectivos tratamentos.

Tabela 2 - Número de corpos de prova do teste acelerado de fungos por grupo de teste

Tipos de fungos xilófagos	Número de corpos de provas	Total
<i>Trametes versicolor</i>	10	
<i>Gloeophyllum trabeum</i>	10	30
<i>Postia placenta</i>	10	

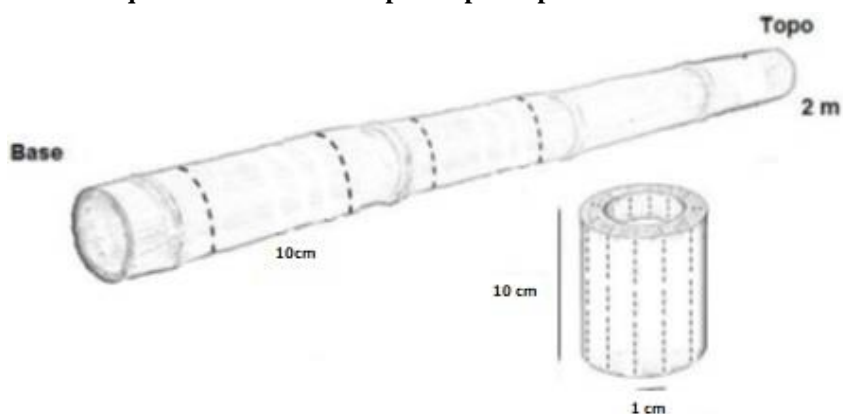
Fonte: Do Autor, 2019

Todas as amostras foram pesadas antes e após o ataque por uma balança de precisão da marca Marte®, modelo AC-2000, com sensibilidade de 0,01g. Para verificar que não houve

condições de umidade diferente entre os corpos de prova e, assim, evitar ganho de massa por absorção, depois foram secados em estufa antes das pesagens no mesmo momento.

Para a amostragem em testes mecânicos, foi seguida a norma para madeiras ASTM D143 (2014). Os corpos de prova para os testes de flexão estática foram retirados dos entrenós e tiveram dimensões adaptadas para bambu: 10,0 cm x 1,0 cm, com a espessura natural da parede do colmo (Figuras 11 e 12).

Figura 11 - Esquema de corte dos corpos de prova para testes de flexão estática



Fonte: Adaptado de Sales-Campos *et al.*, 2003

Figura 12 - Corpo de prova analisado por perda de resistência mecânica



Fonte: Do Autor, 2019

Para o corte das amostras foram usados um Paquímetro digital da marca Starret® com sensibilidade de 0,01 mm para conferir as medidas e a Máquina Universal de Ensaio modelo WDW-100E, do fabricante TIME GROUP INC®, da Oficina de Engenharia Mecânica, na UFTM.

Antes dos ensaios mecânicos, todas as peças foram aparadas, lixadas e secas em estufa a 60 °C por 72 h.

4.3 ENSAIOS BIOLÓGICOS

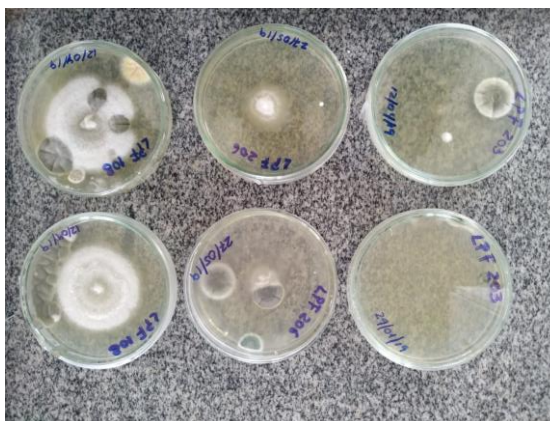
4.3.1 Ataque acelerado de fungos

A norma D 2017 (ASTM, 2005), da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), foi adotada para avaliar o grau de ataque dos fungos xilófagos.

Os fungos utilizados para os ensaios foram de três espécies que deterioram madeira dura: *Trametes versicolor* (Fungo 1), *Gloeophyllum trabeum* (Fungo 2) e *Postia placenta* (Fungo 3). Tais fungos foram concedidos por cepas preparadas e enviadas pela Coleção de Fungos Xilófagos do Laboratório de Produtos Florestais – LPF do Serviço Florestal Brasileiro – SFB.

Os fungos xilófagos foram replicados em meio de cultura de malte a 1,5% e ágar a 2%, onde permaneceram por 10 dias em estufa bacteriológica (BOD) a 25 ° C (Figura 13).

Figura 13 – Hifas dos fungos replicados em meio de cultura após 10 dias em BOD



Fonte: Do Autor, 2019

Em frascos de vidro transparente de 3 L com tampa rosqueável, foram adicionados 490g de solo com pH de 5,5 e umidade corrigida por meio da adição de 200 mL de água destilada. Após isso os frascos foram esterilizados em autoclave a 121 °C por 30 min (Figura 14).

Figura 14 – Frascos com terra pesada e pós esterilização em autoclave



Fonte: Do Autor, 2019

Então foram inoculados os fungos sobre o solo e os frascos foram levados à BOD sob condições de 25 °C, umidade relativa de 60% para colonização por 10 dias (Figura 15). Em seguida, os corpos de prova previamente secos em estufa (80 °C por 72 h) foram inseridos no frasco para início do teste, retornando à BOD sob as mesmas condições

Figura 15 – Frascos com as colônias de fungos



Fonte: Do Autor, 2019

Após um período de 16 semanas (Figura 16), as amostras foram retiradas e limpas com pincel para remoção do excesso de micélio aderido. Então as amostras foram secas em estufas novamente a 60 °C por 72 h e levadas para quantificações da perda de massa e perdas de resistência mecânica.

Figura 16 – Frascos com os corpos de prova após o teste de ataque biológico



Fonte: Do Autor, 2019

4.3.2 Perda de massa

Após a secagem inicial em estufa para uniformização da massa, os corpos de prova tiveram suas massas iniciais (M_i) medidas. A medição foi feita sob o cuidado de evitar contaminação através do uso de máscaras, luvas e bico de Bunsen, bem como não permitir a incorporação de umidade nas amostras por meio da manutenção das taliscas em Dessecadora (Figura 17). Este procedimento se repetiu após a secagem das taliscas em estufa posterior ao ensaio de ataque acelerado dos fungos, dando os valores de massa final (M_f).

Figura 17 – Corpos de prova em dessecadora para pesagem da massa inicial



Fonte: Do Autor, 2019

Com os valores de M_i e M_f , foi determinada a perda de massa por meio da Equação (1), de acordo com a norma ASTM D 2017 (2005):

$$PM = \frac{(Mi - Mf)}{Mi} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

PM é a perda de massa, em %;

Mi é a massa da amostra antes do ataque, em gramas;

Mf é a massa da amostra após o ataque, em gramas.

A Massa residual média (Mrm) foi dada pela Equação (2):

$$Mrm = \frac{Mf}{Mi} \times 100 \quad (2)$$

A classificação sugerida pela ASTM D 2017-05 para madeiras (Quadro 2) foi utilizada para avaliar a resistência do bambu à biodeterioração em relação à perda de material.

Quadro 2 - Classificação de resistência em relação à perda de massa do corpo de prova

Perda de massa média (%)	Massa residual média (%)	Classe de resistência
0 a 10	90 a 100	Altamente resistente
11 a 24	76 a 89	Resistente
25 a 44	56 a 75	Moderadamente resistente
Maior que 45	Menor que 55	Pouco ou não resistente

Fonte: ASTM D 2017, 2005

4.4 ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS

Após os ensaios de biodegradação, os corpos de prova foram avaliados por perda de resistência mecânica por meio de testes de flexão estática em três pontos. Este ensaio visa determinar a resistência máxima dos corpos de prova à flexão estática e foi realizado na Máquina Universal de Ensaio modelo WDW-100E, do fabricante TIME GROUP INC[®], do Laboratório de Ensaio Mecânicos do Departamento de Engenharia Mecânica na UFTM.

Este ensaio foi feito em três grupos: N, CB1 e O. Como para cada grupo experimental foram ensaiados 30 corpos de prova, totalizaram-se 90 ensaios de flexão estática.

As taliscas foram ensaiadas com a força direcionada de fora para dentro, ou seja, com o cutelo apoiado. A velocidade de deslocamento do cabeçote foi de 2,0 mm/min, de forma

constante segundo a norma ASTM D143 (2014). O vão livre adotado foi de 8 cm, adaptado da norma para bambu (Figura 18).

Figura 18 – Corpo de prova em ensaio de flexão estática



Fonte: Do Autor, 2019

A Figura 19 mostra um corpo de prova antes de ensaio de flexão estática e outro após a ruptura.

Figura 19 – Corpo de prova fraturado após ensaio de flexão estática



Fonte: Do Autor, 2019

Dos ensaios foram obtidos os valores de carga (P , em N) e deformação (f , em mm). No entanto, para se analisar o comportamento do material frente a este ensaio, foi necessário obter-se valores de tensão flexural (em kPa) a partir dos resultados de Carga computados pela Máquina Universal de Ensaio. Para isso, antes de cada ensaio os corpos de prova passaram por um procedimento baseado na metodologia de Shimano (2006) para obtenção das propriedades geométricas necessárias.

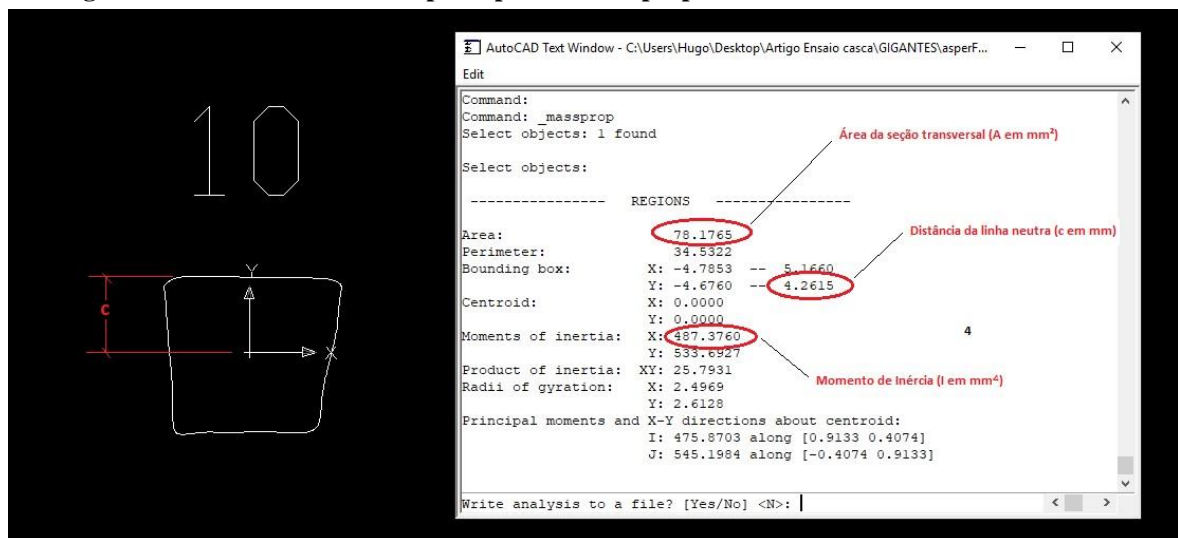
Em papel milimetrado, as taliscas tiveram suas faces de seção transversal demarcadas com tinta de carimbo (Figura 20). Então, estes papéis foram escaneados, digitalizados e inseridos no software AutoCAD R14® pelo comando *Raster image* mantendo a escala 1:1, ou seja, com as dimensões em mm. No programa, as figuras foram contornadas por meio do comando *Spline*, tiveram a região definida com o comando *Region* e, finalmente, com *Mass Properties*, pôde-se obter o relatório das propriedades geométricas dos corpos de prova (Figura 21).

Figura 20 – Seções transversais dos corpos de prova demarcados em papel milimetrado



Fonte: Do Autor, 2019

Figura 21 – Contorno de um corpo de prova e suas propriedades físicas no software AutoCAD



Fonte: Do Autor, 2019

Com as propriedades geométricas, foi possível determinar a tensão flexural a partir da seguinte Equação (3):

$$\sigma_{rf} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (3)$$

Onde: σ_{rf} é a tensão flexural;

M é o momento fletor para um carregamento em três pontos, dado em N.mm;

c é a distância da linha neutra até o ponto de aplicação de carga, dado em mm;

I é o momento de inércia, dado em mm⁴.

Portanto, foi possível construir diagramas Tensão (KPa) X deflexão (mm) para cada corpo de prova, e obter como propriedades mecânicas o Módulo de elasticidade, Módulo de resistência e a deflexão até o módulo de ruptura.

- O Módulo de Elasticidade (E) foi determinado pela Equação (4).

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48fI} \quad (4)$$

Onde:

E é o módulo de elasticidade à flexão, em MPa;

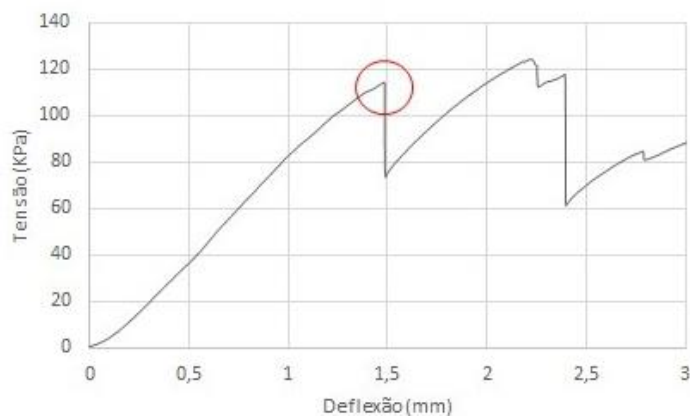
P é a carga, em N;

f é a flecha, L o vão livre, todos em mm;

I o momento de inércia, dado em mm⁴.

- O módulo de resistência (MOR) foi obtido graficamente no primeiro ponto de ruptura, a partir do qual o material deixou de se comportar elasticamente (Figura 22).

Figura 22 – Valor do módulo de ruptura obtido graficamente



Fonte: Do Autor, 2019

- E a deflexão até o módulo de ruptura também foi obtida no momento em que ocorreu a primeira ruptura.

4.5 ENSAIO DE FITOTOXICIDADE

Os ensaios de fitotoxicidade foram baseados na metodologia proposta por Luo *et. al.* (2018) e realizados com sementes de *L. sativa* (alface *grand rapids* TBR), cultivar cinderela, do tipo crespa. As sementes são da safra 201/201, da marca Feltrin Sementes, com 99,6% de pureza (dados informados pelo fabricante). Não houve nenhum tipo de tratamento prévio para superação da dormência.

Para realização do ensaio foram utilizadas placas de Petri transparentes de 10 cm de diâmetro, previamente esterilizadas. Os recipientes receberam uma camada de papel toalha em sua base, que foram saturados com 3,5 mL das amostras a serem testadas.

Os testes foram realizados em 22 grupos, todos com quatro replicatas para cada grupo, simulando diluições para soluções com concentrações usadas no tratamento de bambu. Foram testados os preservantes Octaborato dissódico tetraidratado (O) e CCB (CCB), Ácido bórico com sulfato de cobre (CB); água destilada (N) foi utilizada como controle positivo. Foram aferidas a condutividade e o pH pelo medidor multiparâmetros YSI Professional Plus[®]. As soluções foram preparadas em Becker de 50 mL (Figura 23).

Figura 23 – Soluções preservantes preparadas em diferentes concentrações



Fonte: Do Autor, 2019

As amostras ensaiadas com as diluições e concentrações indicadas estão mostradas na Tabela 3:

Tabela 3 – Grupos de soluções testadas em diferentes concentrações no ensaio de germinação

Grupos	Diluição	Concentração	Siglas
Controle positivo	-	-	N
Octaborato dissódico tetraidratado	1/1	5%	O1
	1/3	1,67%	O2
	1/5	1%	O3
	1/10	0,5%	O4
	1/40	0,125%	O5
	1/50	0,1%	O6
	1/60	0,083%	O7
CB	1/1	2%/1%	CB1
	1/3	0,67%/0,33%	CB2
	1/5	0,4%/0,2%	CB3
	1/10	0,2%/0,1%	CB4
	1/20	0,1%/0,05%	CB5
	1/30	0,067%/0,033%	CB6
	1/50	0,04%/0,02%	CB7
CCB	1/1	3%	CCB1
	1/3	1%	CCB2
	1/5	0,6%	CCB3
	1/10	0,3%	CCB4
	1/20	0,15%	CCB5
	1/30	0,1%	CCB6
	1/50	0,06%	CCB7

Fonte: Do autor, 2019

O CCB utilizado foi o produto MOQ OX50, fornecido pela empresa Montana Química S.A., com as proporções de 30,2% - 34,7% de ácido crômico, 10,0% - 14,2% de óxido cúprico e 29,4% - 33,5% de ácido bórico.

As concentrações que foram usadas como referência para as diluições são valores que se mostraram eficientes no tratamento de bambu em projetos já testados anteriormente. Pereira e Beraldo (2016) mostrou a eficiência do octaborato em concentração a 5%. Espelho (2007) fez o mesmo com CCB a 3%. CB foi o produto testado neste projeto, sendo as concentrações geralmente utilizadas pelos profissionais de bambu.

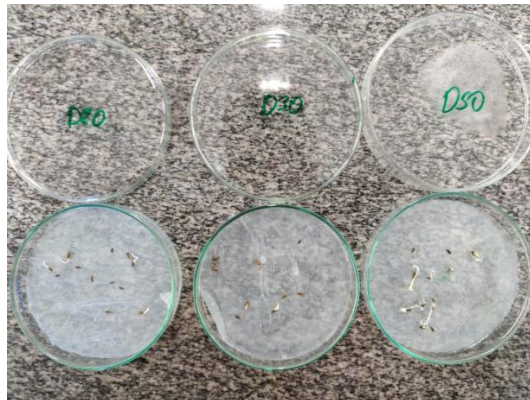
Cada placa de Petri recebeu 10 sementes de alface que foram colocadas em estufa BOD com temperatura constante de 20 °C por 120 h (5 dias) (Figuras 15 e 16).

Figura 24 - Placas de Petri com as sementes de alface em solução água destilada



Fonte: Do autor, 2019

Figura 25 – Placas de Petri com as sementes de alface germinadas em solução de CB7 após 5 dias



Fonte: Do autor, 2019

Cada placa de Petri contendo o papel embebido nas soluções teste recebeu 10 sementes de alface que foram colocadas em estufa BOD com temperatura constante de 20 °C por 120 h (5 dias). Durante o período, foi acompanhada diariamente a germinação, pela observação a olho nu, e ao final, foram medidos com paquímetro o tamanho da radícula (TR) e do hipocótilo (TH).

Foram analisados os seguintes parâmetros: Taxa de germinação total dada pela Porcentagem de germinação absoluta (GA), Taxa de germinação relativa (GR), Crescimento relativo das raízes (CRR) e Índice de germinação (GI) (Equação (5) a Equação (8)).

$$GA = \frac{\text{n}^\circ \text{ de sementes germinadas}}{\text{n}^\circ \text{ total de sementes}} \times 100 \quad (5)$$

$$GR = \frac{\text{n}^\circ \text{ de sementes germinadas no preservante}}{\text{n}^\circ \text{ de sementes germinadas no controle}} \times 100 \quad (6)$$

$$CRR = \frac{\text{m\u00e9dia de crescimento das ra\u00edzes no preservante}}{\text{m\u00e9dia de crescimento das ra\u00edzes no controle}} \times 100 \quad (7)$$

$$GI = \frac{GR (\%) \times CRR (\%)}{100} \quad (8)$$

A classifica\u00e7\u00e3o que determina o grau de toxicidade presente na amostra foi feita pelos valores de CRR e IG. Para CRR foi usada a metodologia de Lumbaue *et al.* (2017), que avaliou a degrada\u00e7\u00e3o e ecotoxicidade do reagente Black 5. De forma similar, o IG foi baseado em Belo (2011), que avaliou a fitotoxicidade de processos resultantes de compostagem. Os Quadros 3 e 4 mostram tais classifica\u00e7\u00f5es, respectivamente.

Quadro 3 - Classifica\u00e7\u00e3o a partir do Crescimento Relativo da Rad\u00edcula (CRR)

Faixa	Efeito
$0 < CRR < 80$	Inibi\u00e7\u00e3o no crescimento da raiz
$80 < CRR < 120$	Nenhum efeito significativo
$CRR > 120$	Est\u00edmulo do crescimento da raiz

Fonte: Lumbaue *et al.*, 2017

Quadro 4 - Classifica\u00e7\u00e3o a partir do \u00cdndice de Germina\u00e7\u00e3o (IG)

IG	Classifica\u00e7\u00e3o
< 30	Muito fitot\u00f3xico
$30 - 60$	Fitot\u00f3xico
$60 - 80$	Moderadamente fitot\u00f3xico
$80 - 100$	N\u00e3o fitot\u00f3xico
> 100	Potencializa a germina\u00e7\u00e3o

Fonte: Belo, 2011

4.6 AN\u00c1LISE ESTAT\u00cdSTICA

Para a an\u00e1lise estat\u00edstica foi utilizado o programa *SigmaStat*[®] v.2.03. Foram realizados testes para comparar as propriedades mec\u00e2nicas obtidas dos ensaios de flex\u00e3o em tr\u00eas pontos, de corpos de prova de bambu tratados e n\u00e3o-tratados quimicamente e, em seguida, atacados por fungos.

Inicialmente foram feitos testes de normalidade e de igualdade de variância. Depois aplicou-se o teste de análise de variância (ANOVA) para comparação entre todos os grupos, com nível de significância de 5%.

Foram analisados os valores do módulo de elasticidade, módulo de ruptura e deflexão no módulo de ruptura.

Então foi aplicado o teste de Tukey para comparação entre os pares de grupos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENSAIO DE DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA

5.1.1 Perda de massa

Com os valores de massa inicial e final dos corpos de prova medidos, foram calculados os resultados de percentagem média de perda de massa e massa residual do bambu gigante após o ataque dos fungos *T. versicolor*, *G. trabeum* e *P. placenta* (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores das médias e Coeficiente de variância da perda de massa e massa residual

Tratamento	Fungo	Perda de massa média (%)	Coefficiente de variação (%)	Massa residual média (%)	Coefficiente de variação (%)
N	<i>T. versicolor</i>	34,981	2,600	92,57	2,81
	<i>G. trabeum</i>	38,786	3,716	90,42	4,11
	<i>P. placenta</i>	22,783	0,900	96,05	0,94
O	<i>T. versicolor</i>	32,051	1,241	96,13	1,29
	<i>G. trabeum</i>	47,004	2,077	95,58	2,17
	<i>P. placenta</i>	76,196	4,170	94,53	4,17
CB1	<i>T. versicolor</i>	21,334	0,907	95,75	0,95
	<i>G. trabeum</i>	44,550	2,564	94,24	2,72
	<i>P. placenta</i>	18,937	0,842	95,56	0,88
CB2	<i>T. versicolor</i>	65,545	4,374	93,88	3,94
	<i>G. trabeum</i>	47,629	2,248	95,53	2,14
	<i>P. placenta</i>	22,509	0,873	96,27	0,83

Fonte: Do autor, 2019

Todos os grupos (tratados e não-tratado) tiveram perda de massa menor que 10%, sendo assim, classificados como altamente resistentes, conforme a classificações de resistência da ASTM D-2017 (2005), com o maior valor 9,581% para o grupo N (sem tratamento) diante do ataque do *G. trabeum*.

Esta classificação uniforme, sem diferenciações no nível de ataque dos fungos, foi observada por Tiburtino (2015), no qual os valores de perda de massa aferidos, que variaram de 2,44% a 14,26%, foram muito próximos do presente trabalho (de 3,87% a 9,58%). Este autor aponta que as amostras que não receberam tratamento químico também foram resistentes ao teste por conta da natural resistência do colmo que, por sua constituição química, principalmente pela presença de sílica, pode ter influenciado no ensaio.

Matsuoka (2011), que também obteve resultados similares, justifica a pequena variação de perda de massa dos corpos de prova dos diferentes grupos de preservantes devido a possíveis

problemas metodológicos como tipo de solo inadequado ou o curto período de teste para uma efetiva e diferenciada degradação.

Os dados da Tabela 4 mostraram normalidade para os valores de Perda de massa e Massa residual. Foram feitos testes Tukey-Kramer de comparações múltiplas de forma a mostrar quais grupos de teste tiveram realmente diferença com significância estatística. A Tabela 5 mostra quais grupos se mostraram diferentes.

Tabela 5 – Grupos com diferença estatística de MOR dados pelo Teste Tukey-Kramer

Comparação	Valor P
N- ¹ 2 x CB1-2	P<0,05
N-2 x CB2-2	P<0,01
N- ¹ 1 x O-1	P<0,001

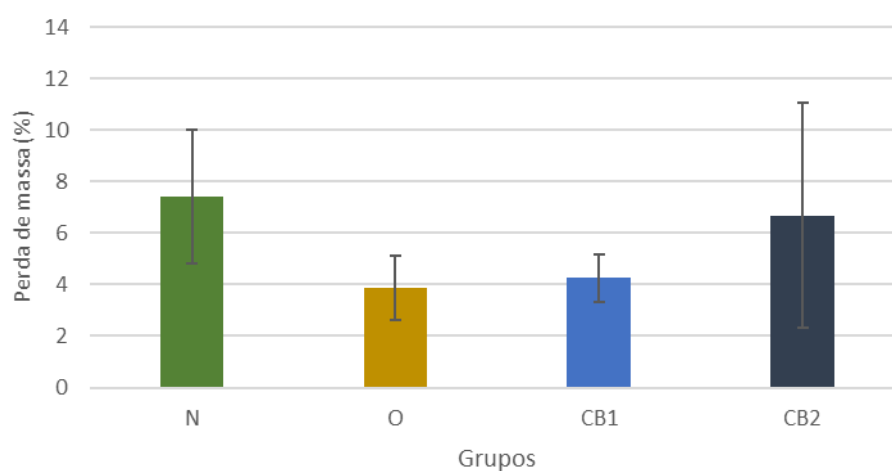
Fonte: Do Autor, 2019

* valores significativos P<0,05; valores muito significativos P<0,01; valores altamente significativos P<0,001.

¹2 = *T. versicolor*; ²1=*G. trabeum*

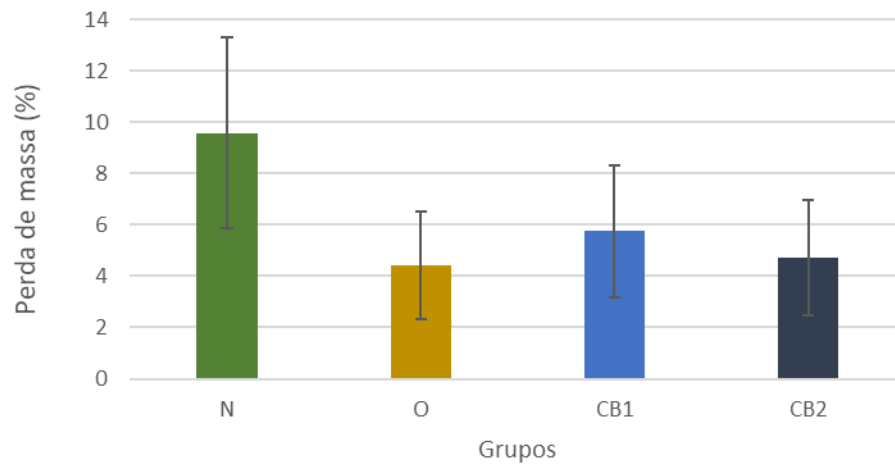
Era esperado que as amostras de *D. asper* com prévio tratamento apresentassem maior resistência, ou seja, mostrassem uma menor perda de massa e maior massa residual. De fato, é possível observar isso para os fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*, aonde o grupo N ofereceu menor resistência, apresentando os maiores valores (7,432% 9,581%) quando comparado aos corpos de prova que receberam algum tipo de tratamento (Figuras 26 e 27).

Figura 26 – Porcentagem de perda de massa das amostras submetidas ao ataque do *T. versicolor*



Fonte: Do autor, 2019

Figura 27 – Porcentagem de perda de massa das amostras submetidas ao ataque do *G. trabeum*

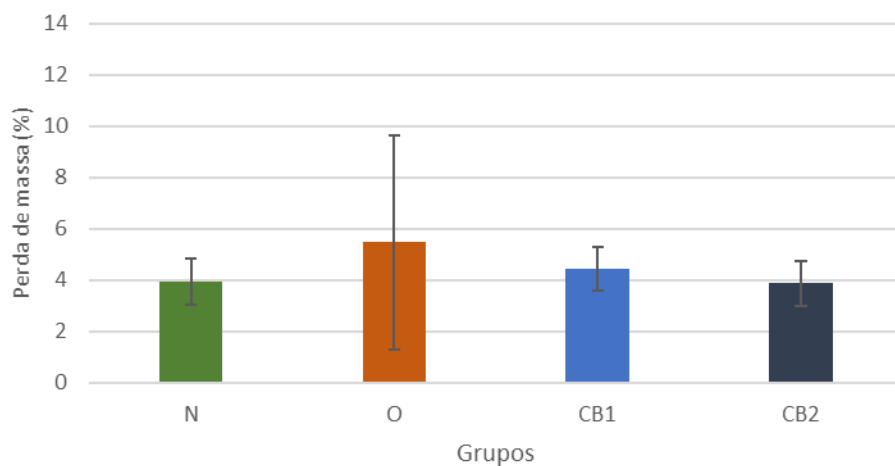


Fonte: Do autor, 2019

Nestes dois primeiros fungos, *T. versicolor* e *G. trabeum*, também é possível ver uma resistência similar oferecida pelos preservantes O, CB1 e CB2. Os valores de perda de massa ocorridas nos bambus tratados por O (3,873% e 4,419%, respectivamente) foram ligeiramente menores que os grupos CB, não havendo diferença estatística aferida entre estes.

Para no ensaio com o *P. placenta*, os grupos CB1 e CB2 mostraram resultados similares ao N, mostrando que o preservante composto por cobre e boro não ofereceu proteção diferenciada quando comparada aos não-tratados. A perda de massa aferida no grupo N (3,951%) foi muito próxima a da classe mais resistente (CB2), que obteve 3,880% (Figura 28).

Figura 28 – Porcentagem de perda de massa das amostras submetidas ao ataque do *P. placenta*



Fonte: Do autor, 2019

Importante ressaltar que, neste mesmo fungo, o preservante O apresentou menor resistência (5,47%) que os outros grupos. De alguma forma, o Octoborato tornou o bambu mais atraente para essa espécie de fungo, relativamente aos outros grupos testados.

Dessa forma o CB se mostra como um preservante com eficiência similar ou superior de tratamento do bambu contra os fungos xilófagos, em relação ao O, produto já consolidado no mercado.

Os tratamentos à base de boro são solúveis em água e facilmente lixiviáveis, sendo indicados para o bambu a ser utilizado em áreas protegidas das intempéries (LIESE, 2004), caso do octaborato. O CB contém cobre em sua composição, elemento fungicida, sendo assim mais recomendado no caso de bambu exposto, conforme Dyts (2014) ao comparar o ataque acelerado de fungos em bambu tratado com sulfato de cobre a 3,5% com outros preservantes. Neste estudo, o cobre ofereceu mais proteção quando comparado aos outros compostos baseados apenas em boro.

Não se pôde observar acréscimo de resistência do preservante CB quando se aumentou a concentração da solução de tratamento. Os valores de CB1 e CB2 não mostraram diferença estatística entre si em nenhum dos três fungos, podendo, assim, sugerir o emprego de qualquer uma das concentrações deste preservante no tratamento do bambu.

Um fato importante ocorrido nos ensaios dos três fungos é a grande amplitude de variações apresentadas nos resultados. Isso ocorreu possivelmente devido ao baixo número de corpos de prova. Por se tratar de um ensaio puramente biológico, fatores como preferência de ataque de certo fungo em determinado corpo de prova, mesmo que os corpos de prova estivesse nas mesmas condições, podem ocorrer.

5.1.2 Ensaio de flexão estática

Após o ataque acelerado dos fungos as amostras que foram submetidas ao ensaio de flexão estática possibilitaram obter os valores médios e Coeficientes de Variação (CV) das propriedades mecânicas – Módulo de Elasticidade (E), Módulo de ruptura (MOR) e Deflexão no ponto de ruptura – das amostras ensaiadas com os respectivos fungos, apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores das médias e desvios padrão das características mecânicas das amostras

Fungo	Grupo	N		O		CB1	
		Média	CV (%)	Média	CV (%)	Média	CV (%)
<i>T. versicolor</i>	E (MPa)	5517	22,29	5572	19,80	6205	21,63
	MOR (MPa)	69,77	31,16	37,66	72,65	82,00	27,55
	Deflexão (mm)	1,302	18,43	0,718	54,04	1,371	17,29
<i>G. trabeum</i>	E (MPa)	5238	12,54	5112	44,56	6632	21,23
	MOR (MPa)	65,86	12,00	38,37	26,32	99,37	18,42
	Deflexão (mm)	1,354	11,60	1,154	44,54	1,560	18,97
<i>P. placenta</i>	E (MPa)	6224	30,93	6040	40,66	5588	25,47
	MOR (MPa)	56,48	16,50	61,17	48,83	79,87	26,58
	Deflexão (mm)	1,110	25,77	1,058	37,43	1,272	23,19

Fonte: Do autor, 2019

Os dados da Tabela 6 mostraram normalidade, sendo que o módulo de elasticidade foi a única propriedade que não apresentou diferença estatística no teste ANOVA ($p < 0,05$). Para MOR e deflexão foram feitos testes Tukey-Kramer de comparações múltiplas de forma a mostrar quais grupos de teste tiveram realmente diferença com significância estatística.

5.1.2.1 Módulo de Elasticidade

Para a variável E, o grupo CB1 apresentou os maiores resultados diante dos fungos *T. versicolor* (6205 MPa) e *G. trabeum* (6632 MPa). Para o *P. placenta*, o maior foi o grupo N, com 6224 MPa. No entanto, não houve diferença estatisticamente significativa em nenhuma combinação de grupos de teste, sendo a variação geral dos valores entre 5112 e 6632 Mpa. Isso mostra que o comportamento elástico característico do material (bambu), que foi o mesmo para todos os grupos.

Segundo Janssen (2000), foram encontrados em colmos inteiros valores variando entre 6000 Mpa a 14000 Mpa de E. Toda essa variação se justifica pelo fato das características mecânicas serem influenciadas por diversos fatores como a espécie, tipo de solo, condições climáticas, idade, época de colheita, localização ao longo do colmo, presença ou não de nós e pelo tipo de teste aplicado (GHAVAMI e MARINHO, 2005)

Os altos valores de CV de E, que chegou a 48,83 %, provavelmente se deu pela metodologia adotada para realização do trabalho. Por se tratar de um ensaio puramente biológico, aonde o nível de ataque dos fungos pode ter sido variável de amostra para amostra mesmo que no mesmo frasco, a variação dos valores foi alta. Um número de corpos de prova maior provavelmente contribuiria para uma maior estabilização dos valores. Além disso, a

forma não padronizada dos corpos de prova pode ter contribuído para tal situação, assim como em Mota (2017).

5.1.2.2 Módulo de Ruptura

Para, MOR, Beraldo (2016) aponta que os resultados observados na literatura disponível situam entre 30 e 170 MPa. Nesta faixa estão contidos os valores dos testes dos três fungos nos três grupos experimentais, nos quais suas combinações apresentaram diferenças estatísticas. A Tabela 7 as apresenta.

Tabela 7 – Grupos com diferença estatística de MOR dados pelo Teste Tukey-Kramer

Comparação	Valor P
N- ¹² x CB-2	P<0,05
O- ²¹ x CB-1	P<0,001
O-2 x CB-2	P<0,001

Fonte: Do Autor, 2019

* valores significativos P<0,05; valores muito significativos P<0,01; valores altamente significativos P<0,001.

¹² = *T. versicolor*; ²¹=*G. trabeum*

O grupo CB mostrou os maiores valores de MOR quando comparados com os outros grupos O e N diante do fungo *G. trabeum* (o maior valor de todos testes - 99,37 Mpa) e frente ao *T. versicolor* (82,00 Mpa) em relação ao O (37,66 Mpa). Isso mostra que o preservante em estudo ofereceu maior proteção ao bambu que o O no ataque de dois tipos de fungos deterioradores, evidenciado pela maior capacidade de carga que os corpos de prova suportaram antes da ruptura.

Comparando estes resultados de MOR dos corpos de prova ensaiados por flexão à perda de massa pode haver uma aparente discrepância. Como foi mostrado, nestes mesmos fungos *G. trabeum* e *T. versicolor*, O, similarmente a CB, obteve os menores níveis de degradação.

Entretanto, Liese (1998) destacou a importância de se correlacionar a resistência mecânica do bambu com sua anatomia. Ele afirma que o E e o MOR são fortemente correlacionados com os comprimentos das fibras. Sendo assim, a presença de octaborato no bambu pôde ter ocasionado algum estímulo ao consumo das fibras pelos fungos em preferência ao tecido parenquimático, causando assim um rompimento maior fibras, e, assim, uma diminuição na capacidade suportar carga sem se romper.

5.1.2.3 Deflexão na ruptura

De forma similar ao MOR, a deflexão na ruptura também apresentou combinações de grupos com diferença estatística, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Grupos com diferença estatística de deflexão dados pelo Teste Tukey-Kramer

Comparação	Valor P
N- ¹ x O-1	P<0,05
O-1 x O- ²	P<0,05
O-1 x CB-1	P<0,01

Fonte: Do Autor, 2019

* valores significativos P<0,05; valores muito significativos P<0,01; valores altamente significativos P<0,001.

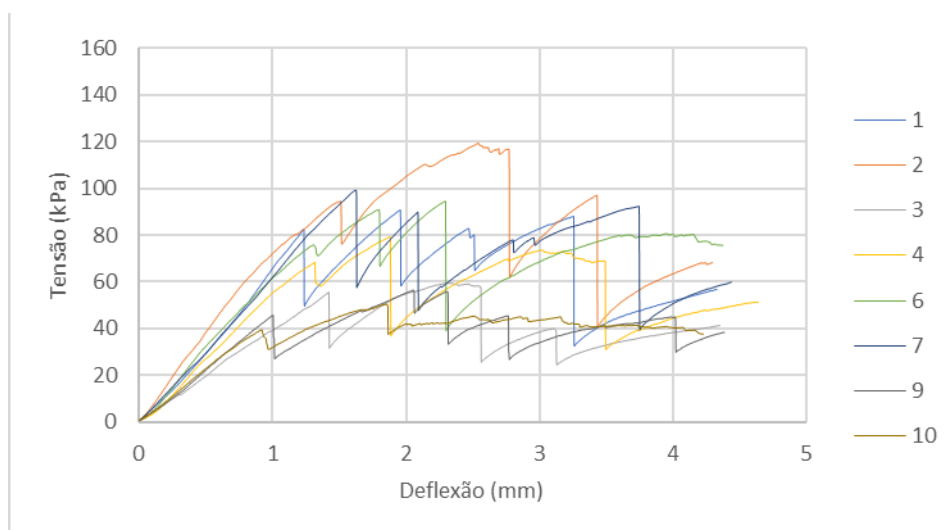
¹1 = *T. versicolor*; ²2=*G. trabeum*

Assim como na análise do MOR foram analisadas as combinações de grupos que estiveram sob o ataque do mesmo fungo. Observou-se que diante do *T. versicolor* o grupo O diferiu dos outros grupos, mostrando menor capacidade de deflexão.

Em *G. trabeum* e no *P. placenta*, O também apresentou menores valores de deflexão na ruptura, corroborando o que aconteceu com MOR, aonde a

Da Figura 29 a 37 apresenta-se tendência do comportamento mecânico das amostras de *D. asper* tratadas e não-tratada, por meio gráfico de Tensão x Deflexão. A legenda a direita relaciona o número do corpo de prova com a cor de sua curva.

Figura 29 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo N - *T. versicolor*

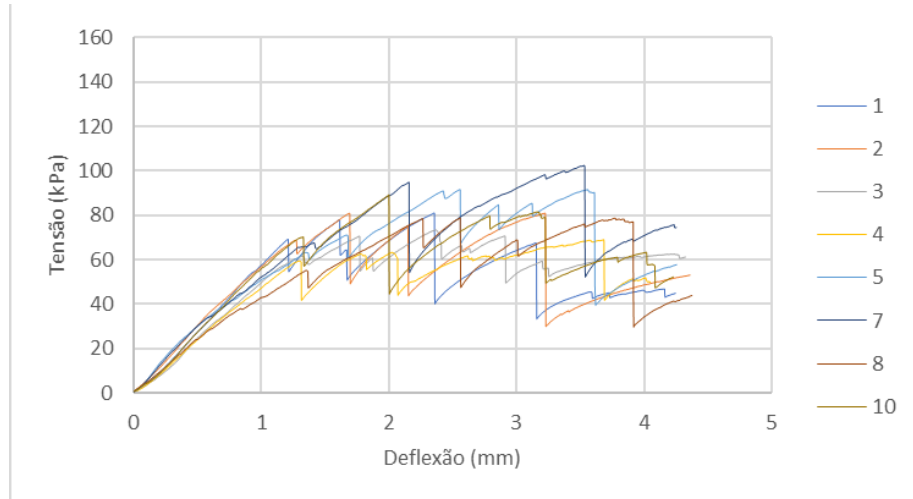


Fonte: Do Autor, 2019

Nota-se em todos os gráficos que os corpos de prova tiveram rupturas fracionadas, aonde as fibras se romperam de forma heterogênea e gradual. Isso pode ser justificado ao fato

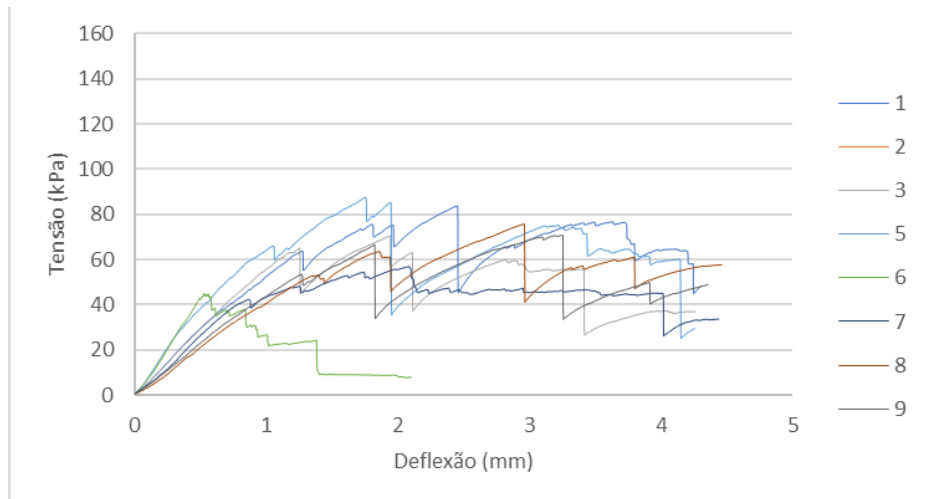
de as dimensões das taliscas serem possivelmente inadequadas ao teste. Diferentemente da norma utilizada neste teste (ASTM D143), a NBR 7190 denota que a razão entre o vão livre e a altura do corpo de prova deve ser superior a 21, para que não ocorra a interferência da força cortante, fato que não ocorreu neste trabalho, onde a razão foi 8.

Figura 30 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo N pós ataque de *G. trabeum*

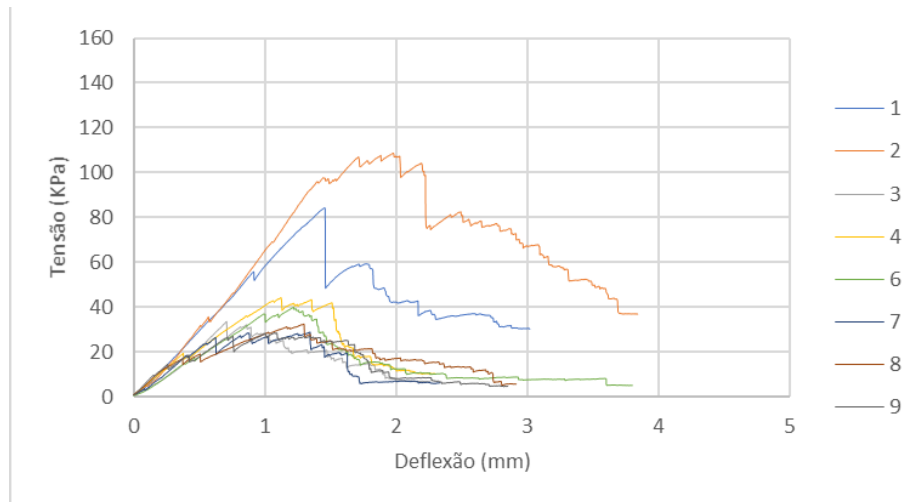


Fonte: Do Autor, 2019

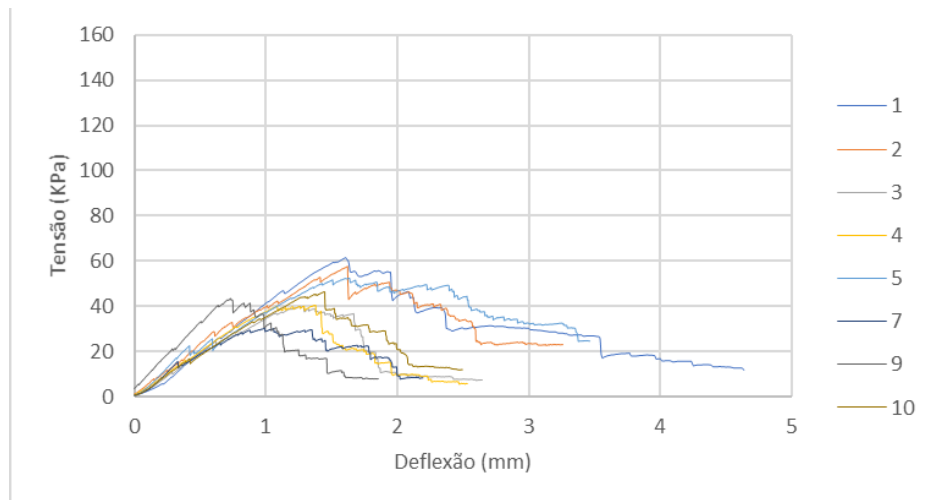
Figura 31 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo N pós ataque de *P. placenta*



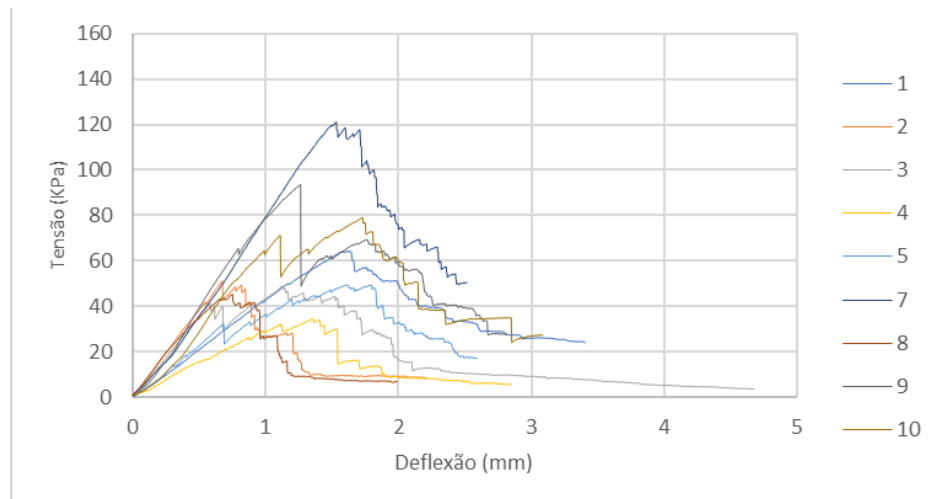
Fonte: Do Autor, 2019

Figura 32 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo O pós ataque de *T. versicolor*

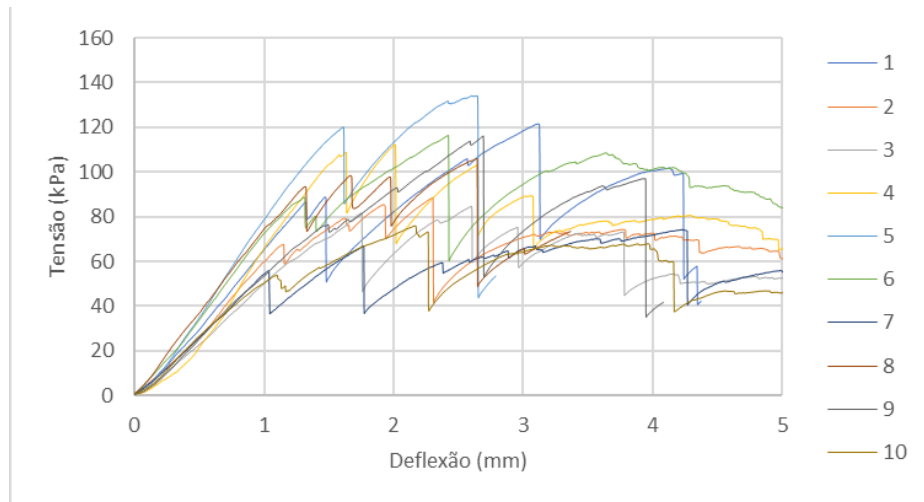
Fonte: Do Autor, 2019

Figura 33 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo O pós ataque de *G. trabeum*

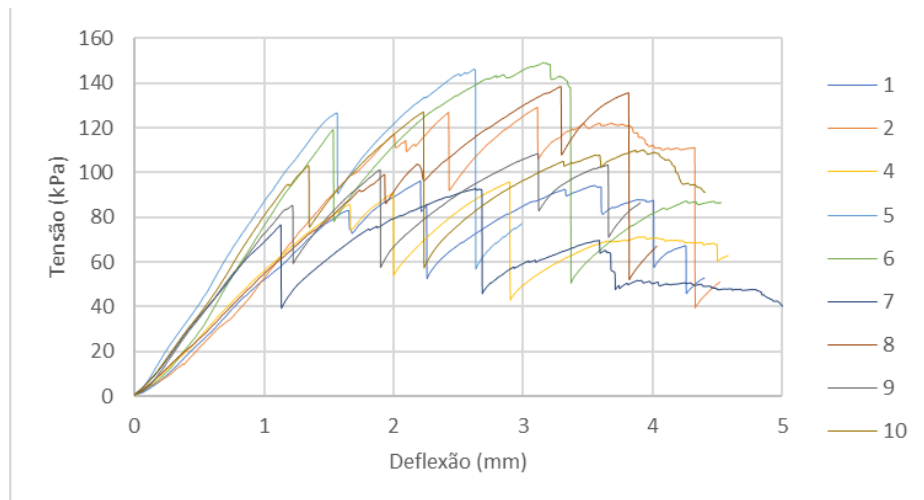
Fonte: Do Autor, 2019

Figura 34 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo O pós ataque de *P. placenta*

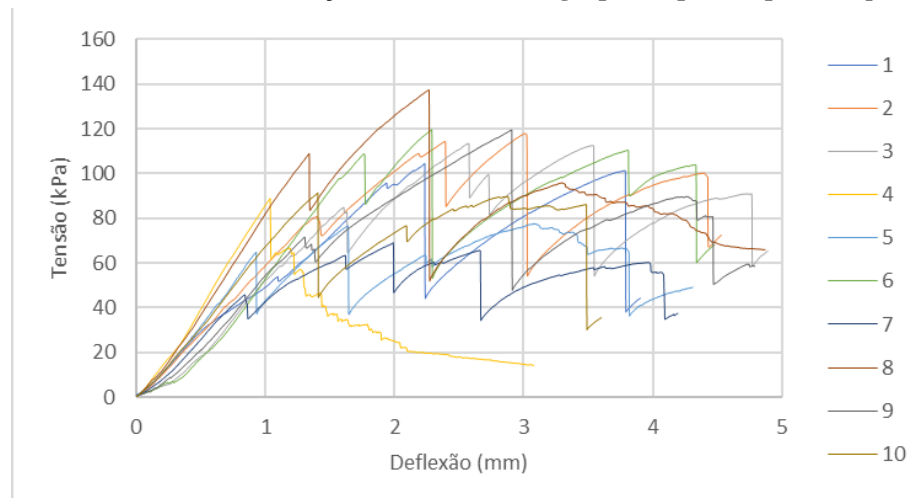
Fonte: Do Autor, 2019

Figura 35 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo CB pós ataque de *T. versicolor*

Fonte: Do Autor, 2019

Figura 36 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo CB pós ataque de *G. trabeum*

Fonte: Do Autor, 2019

Figura 37 – Curvas Tensão x Deformação das amostras do grupo CB pós ataque de *P. placenta*

Fonte: Do Autor, 2019

É possível notar também que, observando os gráficos de O e comparando-os com N e CB, a ruptura aconteceu anteriormente, ou seja, o material rompeu com um menor valor de tensão e sob uma menor deformação (deflexão), evidenciando os decréscimos de resistência mecânica e da capacidade de absorver carga ocorrida no bambu tratado por octaborato.

Além disso, os gráficos de CB mostraram a maior capacidade de receber tensões de maior valor, chegando a picos maiores que 140 Mpa. Sendo assim, este preservante se torna interessante no que diz respeito à proteção do bambu contra os danos mecânicos ocasionados pelo ataque de fungos.

5.2 ENSAIO DE FITOXICIDADE

Após os testes de germinação das sementes de alface nas diferentes diluições dos preservantes de bambu, foram calculados valores para caracterizar o possível nível de toxicidade apresentado pelas soluções preservantes. A Tabela 9 mostra os valores de Taxa de germinação total dada pela Porcentagem de germinação absoluta (GA), Taxa de germinação relativa (GR), Crescimento relativo das raízes (CRR) e Índice de germinação (GI).

Nota-se que até a diluição 1/10, todos os preservantes se mostraram tóxicos, visto que em todas estas repetições houve inibição de germinação. O aumento da diluição da solução preservante causou aumento na germinação das sementes.

Ao analisar os valores de GA, nenhuma diluição apresentou 100% de germinação. Até mesmo em altas diluições como 1/50 e 1/60, não foram obtidos valores maiores que 80%.

Santos *et al.* (2019) analisou a toxicidade do herbicida glifosato (Roundup), defensivo agrícola muito utilizado nas plantações de soja transgênica, cuja ação causa destruição total de plantas. Frente às sementes de alface, este efluente em sua mais alta concentração (sem diluição) teve 90% de GA, valor maior que qualquer grupo de preservante de bambu testado. Isso demonstra o impacto dessas substâncias no processo germinativo das sementes.

Tabela 9 – Valores dos índices de germinação dos preservantes sob diferentes diluições

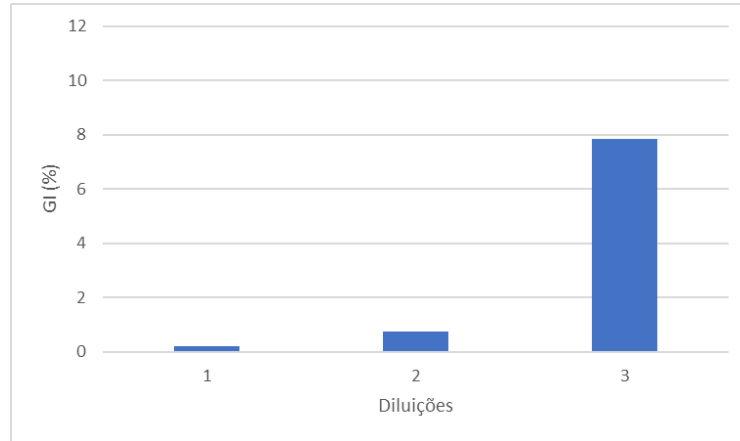
Grupos	Diluição	Concentração	¹ GA (%)	² GR (%)	³ CRR (%)	⁴ GI (%)
Octaborato de sódio	1/1	5%	0	0	0	0
	1/3	1,67%	0	0	0	0
	1/5	1%	0	0	0	0
	1/10	0,5%	0	0	0	0
	1/40	0,125%	10	12,50	1,66	0,21
	1/50	0,1%	27,5	34,38	2,16	0,74
	1/60	0,083%	42,5	53,13	14,76	7,84
CB	1/1	2%/1%	0	0	0	0
	1/3	0,67%/0,33%	0	0	0	0
	1/5	0,4%/0,2%	0	0	0	0
	1/10	0,2%/0,1%	0	0	0	0
	1/20	0,1%/0,05%	47,5	59,38	7,13	4,23
	1/30	0,067%/0,033%	55	68,75	8,78	6,04
	1/50	0,04%/0,02%	75	93,75	11,74	11,00
CCB	1/1	3%	0	0	0	0
	1/3	1%	0	0	0	0
	1/5	0,6%	0	0	0	0
	1/10	0,3%	0	0	0	0
	1/20	0,15%	45	56,25	1,44	0,81
	1/30	0,1%	67,5	84,38	4,68	3,95
	1/50	0,06%	72,5	90,63	9,36	8,48

Fonte: Do autor, 2019

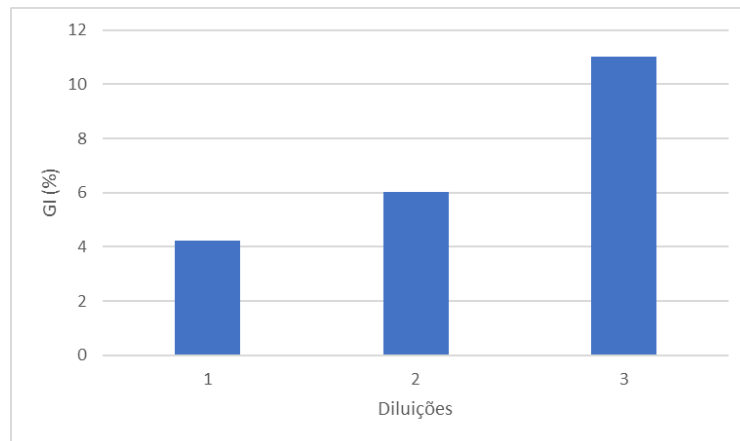
* ¹GA = Índice de Germinação Absoluta;²GR = Índice de Germinação Relativa;³CRR = Crescimento Relativo das Raízes;⁴GI = Índice de Germinação Relativa.

Os resultados da variável GI permitem inferir que houve interferência significativa nos processos fisiológicos da germinação de alface. Segundo a classificação de Belo (2011), todos os grupos apresentaram GI muito fitotóxico (GI < 30), como mostrado nas Figuras 38, 39 e 40. O Roundup, comparativamente, obteve todos os valores de GI maior que 80% (SANTOS *et al.*, 2019).

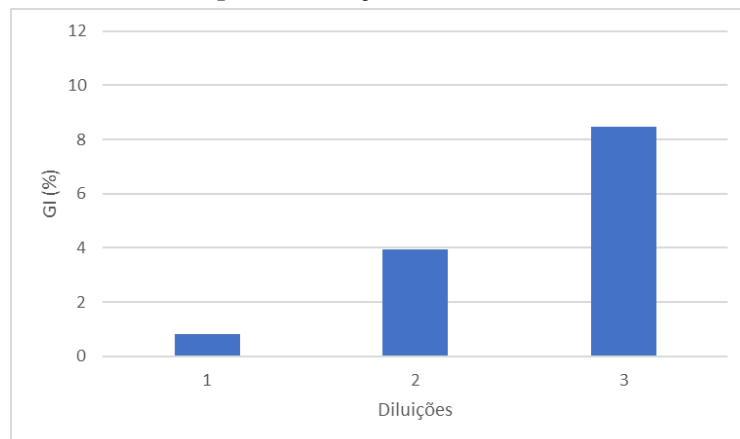
Ainda, é possível observar que CB nas últimas diluições apresentadas na Figura 39 apresentou maiores valores de GI maiores quando comparados com CCB e O, denotando uma possível menor toxicidade deste preservante no solo.

Figura 38 – Valores de GI (%) para as diluições 1/40 (1), 1/50 (2) e 1/60 (3) de Octaborato

Fonte: Do autor, 2019

Figura 39 – Valores de GI (%) para as diluições 1/20 (1), 1/30 (2) e 1/50 (3) de CB

Fonte: Do autor, 2019

Figura 40 – Valores de GI (%) para as diluições 1/20 (1), 1/30 (2) e 1/50 (3) de CCB

Fonte: Do autor, 2019

Para o Crescimento Relativo da radícula CRR todos os grupos apresentaram efeito de “Inibição no crescimento da raiz”, segundo Lumbaue *et al.* (2017), indicando alteração no

metabolismo da planta. Os valores também aumentaram conforme se maximizou a diluição, como esperado. No entanto, foram todos inferiores a 80%, sendo que nas diluições menores que 1/10, os CRR foram nulos. Novamente, o Roundup se mostrou menos tóxico, com todos CRR maiores que 96,28% (SANTOS *et al.*, 2019).

O maior valor de CRR dos preservantes foi 14,7% para O na mais alta diluição (1/60), mesmo valor para dicromato de potássio em sua maior concentração testada (50mg/L) por Silva e Mattiolo (2011). O dicromato de potássio trata-se de um composto usado em tratamento antifúngico de madeira, com características tóxicas agudas.

Tabela 10 – Comprimentos das radículas das sementes nas soluções ensaiados

Grupos	Diluição	Comprimento da radícula (mm)
Controle	-	2,78 ± 3,31
Octaborato de sódio	1/1	0,00 ± 0,00
	1/3	0,00 ± 0,00
	1/5	0,00 ± 0,00
	1/10	0,00 ± 0,00
	1/40	0,05 ± 0,10
	1/50	0,06 ± 0,13
	1/60	0,41 ± 0,84
CB	1/1	0,00 ± 0,00
	1/3	0,00 ± 0,00
	1/5	0,00 ± 0,00
	1/10	0,00 ± 0,00
	1/20	0,20 ± 0,28
	1/30	0,24 ± 0,31
	1/50	0,33 ± 0,36
CCB	1/1	0,00 ± 0,00
	1/3	0,00 ± 0,00
	1/5	0,00 ± 0,00
	1/10	0,00 ± 0,00
	1/20	0,04 ± 0,13
	1/30	0,13 ± 0,28
1/50	0,26 ± 0,45	

Fonte: Do autor, 2019

Corroborando isso, o comprimento da radícula da semente germinada frente às soluções também aponta a dificuldade do desenvolvimento da raiz. O maior média de comprimento da radícula ocorreu na solução de octaborato de sódio (0,41 ± 0,84), valor 6,78 vezes menor do que aquele observado no grupo controle (2,78 ± 3,31), ressaltando a ação tóxica desses

compostos para a planta (Tabela 10). O dicromato de potássio em a 50 mg/L proporcionou resultado semelhante ($0,3 \pm 0,2$) (SILVA e MATTIOLO, 2011).

Diferente do efeito observado no crescimento da raiz (radícula), no Índice de Germinação Relativa (GR) foram obtidos valores em torno de 90% na última diluição. Isso demonstra que o crescimento inicial das plantas é mais sensível que a germinação, sendo as raízes geralmente mais vulneráveis às substâncias aleloquímicas do que outras estruturas das plântulas como as sementes. As raízes são responsáveis pela absorção dos compostos bioativos presentes no ambiente (DIAS *et al.*, 2014).

Os resultados medidos de pH e condutividade elétrica das soluções preservantes nas diferentes diluições estão na Tabela 11. Nela pode-se observar que para todos os preservantes os valores das duas variáveis diminuíram conforme maior a diluição, sendo o CCB o mais ácido e o octaborato o mais básico.

Tabela 11 – Valores medidos de pH e condutividades das soluções ensaiadas

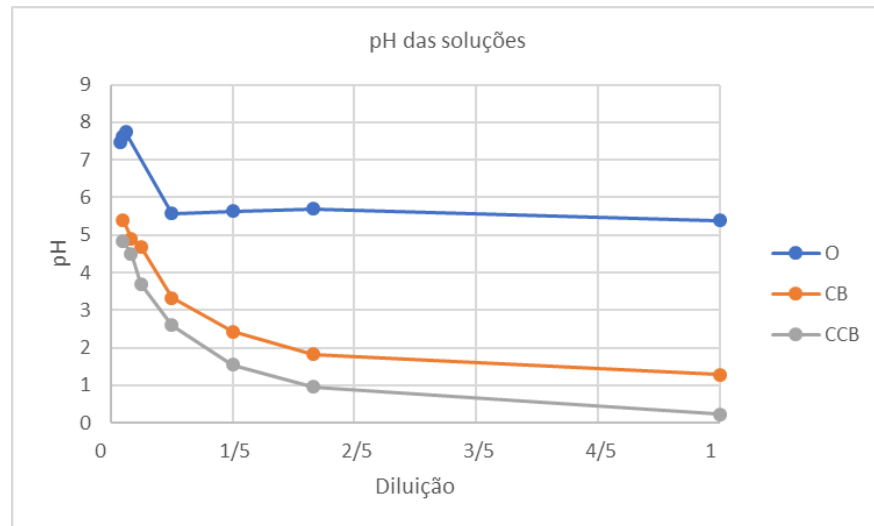
Grupos	Diluição	pH	Condutividade elétrica (uS/cm)
Octaborato de sódio	1/1	5,38	6843
	1/3	5,7	3222
	1/5	5,63	2303
	1/10	5,58	1220
	1/40	7,74	344,2
	1/50	7,64	343,3
	1/60	7,46	259,2
CB	1/1	1,28	3495
	1/3	1,82	1777
	1/5	2,42	1175
	1/10	3,33	653
	1/20	4,69	446,5
	1/30	4,9	312,6
	1/50	5,4	238,7
CCB	1/1	0,22	5818
	1/3	0,95	2510
	1/5	1,55	1750
	1/10	2,6	995
	1/20	3,7	543
	1/30	4,5	198
	1/50	4,83	233

Fonte: Do autor, 2019

Em condições de extrema acidez ou de alcalinidade, a germinação e o desenvolvimento da planta são afetados de forma negativa. Efeitos de inibição e diminuição no crescimento das raízes foram manifestados para pH menor que 3,0 ou maior que 9,0 (GARRIDO, 2018).

No entanto, os resultados encontrados neste trabalho não permitiram relacionar os valores de pH com os índices de germinação, visto que para o octaborato, no qual os valores se mostraram menos ácidos, houve inibição similar a dos outros grupos (Figura 41/Figura 41).

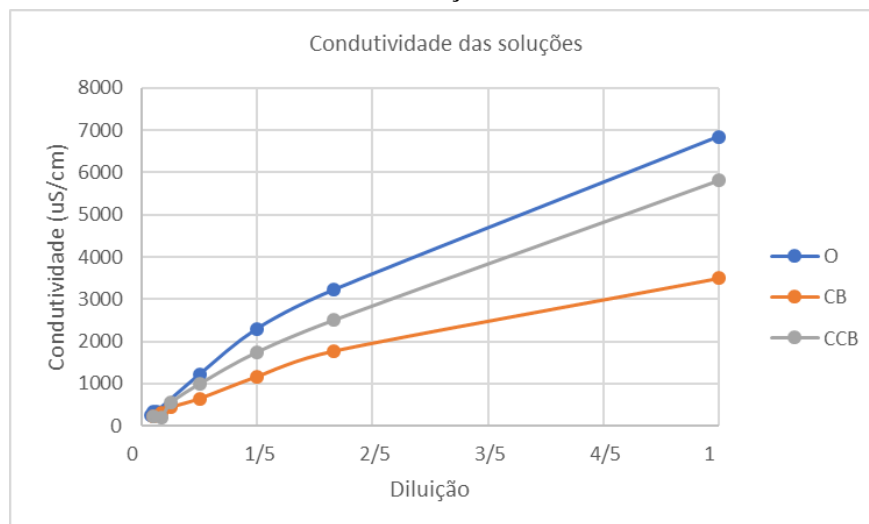
Figura 41 – Gráfico dos valores de pH medidos das soluções preservantes nas diferentes diluições



Fonte: Do autor, 2019

Já para a condutividade elétrica, as germinações só ocorreram para os grupos com valores inferiores a 543 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 42). Para valores maiores que este as germinações foram inibidas.

Figura 42 – Gráfico dos valores de Condutividade elétrica das soluções preservantes nas diferentes diluições



Fonte: Do autor, 2019

Mesmo para maiores diluições, o nível de alta toxicidade foi observado, quando comparado ao grupo controle. Dessa forma, esse procedimento usual de descarte no solo pós tratamento de bambu pode vir a causar problemas no desenvolvimento de plantas aquáticas e terrestres, fazendo-se necessário assim um tratamento prévio do efluente para evitar desequilíbrios ambientais.

É possível que as sementes de *L. sativa* apresentem grande sensibilidade em germinação ao serem submetidas ao contato com essas substâncias. Comparadas às outras sementes, isso havia sido apontado por Peduto *et al.* (2019).

6 CONCLUSÃO

O ensaio de ataque acelerado de degradação por fungos, bem como suas posteriores análises por perda de massa e perda de resistência mecânica, gerou resultados com pouca diferenciação entre os corpos de prova tratado e não tratado. Isso se deu principalmente devido ao curto período de exposição de apenas 16 semanas.

Na análise de perda de massa, todos os grupos foram classificados como altamente resistentes. No entanto, os valores permitiram concluir que, para os fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*, os grupos CB e Octoberato ofereceram resistência similar, maior que o grupo não-tratado. No *P. placenta*, o Octoberato sofreu maior intensidade que os grupos CB e o não-tratado. Dessa forma, o preservante à base de boro e cobre mostrou potencial eficácia de tratamento, visto que o controle positivo, muito utilizado no mercado de bambu hoje, ofereceu proteção similar ou inferior contra os agentes degradadores.

Na análise de flexão estática, o preservante CB obteve em geral melhores resultados quanto às perdas ocasionadas na resistência mecânica do bambu. Diante todos os fungos degradados testados, este preservante apresentou os maiores valores de Módulo de Ruptura, e o diante do *T. versicolor*, Octoberato ofereceu resistência menor que os corpos de prova não tratados. Ademais, O foi grupo no qual pôde suportar os menores valores de deflexão. O Módulo de Elasticidade teve valores que não diferiram entre si, sendo avaliada como uma característica própria do *D. asper*.

Dessa forma, seria interessante prosseguir os estudos com o preservante CB para se atestar com maior suficiência a eficácia no tratamento do bambu. Aumentar a duração do teste e o número de corpos de prova provavelmente permitiria obter resultados mais aprofundados para este tipo de ensaio de degradação por fungos.

Já na análise de fitotoxicidade, os três preservantes apresentaram resultados de considerável toxicidade, com característica inibitória tanto na germinação das sementes de alface como no crescimento das raízes da planta, sendo necessárias altas diluições ou mesmo um pós-tratamento do efluente para minimizar o impacto ambiental no descarte. Uma outra possibilidade para este resultado é a alta sensibilidade das sementes de alface frente aos compostos testados.

7 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Dentre os possíveis trabalhos futuros que poderão ser feitos para contribuir para a análise da eficácia do preservante CB podem ser indicados:

- a) testar o tratamento sob diferentes concentrações de boro e cobre;
- b) análise de penetração e retenção do preservante: medir o nível incorporação dos compostos preservativos no bambu após o tratamento;
- c) análise de lixiviação do preservante: de modo a analisar quão lixiviável são os preservantes, testar o nível de solubilidade dos componentes que penetram no bambu após o tratamento;
- d) ensaio de degradação biológica de corpos de prova: utilizar de outra metodologia para se testar a eficiência do preservante, enterrando os corpos de prova em solo por um período maior, para então se fazer as análises de perda massa e perda mecânica;
- e) testes de germinação das soluções preservantes em sementes de outras espécies ou/e aumentar a diluição das soluções até encontrar um valor não tóxico;
- f) outras formas de análise de toxicidade dos preservantes utilizados de forma a corroborar os resultados de diluição de descarte das soluções preservantes.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D - 143: Standard methods of testing small clear specimens of timber**. Annual Book of A.S.T.M Standards, Philadelphia, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D – 2017: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods**. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2005.

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

BARBOZA, A. S. R. Avaliação do uso de bambu como material alternativo para a execução de habitação de interesse social. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 115-129 jan/mar. 2008.

BARROS, B. R. **Bambu: Alternativa construtiva de baixo impacto ambiental**. I ANAIS DA CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, São Paulo, 2004, **Anais [...]**. São Paulo, 2004.

BELLATO, F. C. *et al.* Avaliação da fitotoxicidade de efluente têxtil contendo corante CI Reactive blue 222 após tratamento por *Pleurotus ostreatus* em biorreator. In XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2015, Campinas. **Anais [...]**. UNICAMP - Campinas, SP, 2015.

BELO, S. R. S. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. 2011. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2011.

BERALDO, A. L. *et al.* Desempenho de um dispositivo para efetuar o tratamento químico de colmos de bambu: Avaliação por Ultrassom. In II ANAIS DO ENECS, 2003. Campinas. **Anais [...]**. UNESP - Campinas, SP, 2003.

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

BRITO, N. N. *et. al.* Ensaio toxicológicos com sementes para avaliação de tratamento do chorume por filtração lenta e fotocatalise. **Holos environment**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 140, 2010.

CALEGARI, L. *et al.* Eficiência de extrato tânico combinado ou não com ácido bórico na proteção de madeira de *Ceiba pentandra* contra cupim xilófago. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 43-52, jan./mar. 2014.

DIAS, A. C. A. *et al.* Fitotoxicidade de extrato de sementes de bacupari sobre bioensaios com alface (*Lactuca sativa L.*). In: XI CONGRESSO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE DE POÇOS DE CALDAS, 2014, Poços de Caldas. **Anais [...]**. Poços de Caldas, 2014.

DYTZ, P. eficiência de produtos químicos na proteção de *Bambusa vulgaris schrad* e *Eucalyptus urograndis* contra fungos apodrecedores. 2014. 39f. Projeto de Monografia (Departamento de Engenharia Florestal) – UNB, Brasília, DF, 2014.

ESPELHO, J. C. C. **Tratamento químico de colmos de bambu pelo método de Boucherie modificado**. 2007. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UNICAMP, Campinas, SP, 2007.

GARRIDO, R. M. **Fitotoxicidade de cinamaldeído, curcumina e metoxichalconas sobre alface e plantas daninhas**. 2018. 69f. Dissertação (Mestrado em Biociências) – UNESP, Assis, SP, 2018.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Rio de Janeiro, v. 9, n.1, p.107-114, 2005.

GUIMARÃES, R. M. **Propriedades físicas, mecânicas e biológicas de compensado de *Dendrocalamus asper* tratado quimicamente**. 2016. 50f. Projeto de Monografia (Departamento de Engenharia Florestal) – UNB, Brasília, DF, 2016.

HIDALGO-LÓPEZ, O. **Bamboo, the gift of the gods**. Ed. D'Vinni. Minnesota: University of Minnesota. 2003.

JANSSEN, J. J. A. Designing and building with bamboo. *In*: INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN (INBAR), 2000, Technical report n. 20. Beijing, China. **Anais [...]**. Beijing, 2000.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, 1998.

LIESE, W. Preservation of a bamboo culm in relation to its structure. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL GUADUA, 2004, Pereira. **Anais [...]**. Pereira, 2004.

LUO, Y. *et. al.* Seed germination test for toxicity evaluation of compost: Its roles, problems and prospects. **Waste Management**. Chandsha, v. 71, p. 109-114, jan, 2018.

LUMBAQUE, E. C. *et al.* Degradation and ecotoxicity of dye Reactive Black 5 after reductive-oxidative process. **Revista Environmental Science and Pollution Research**. Ponta Grossa, v. 24, n. 7, p. 6126-6134, mar. 2017.

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

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

MOTA, I. O. *et al.* estudo das propriedades físicas e mecânicas do bambu brasileiro (*Bambusa vulgaris vittata*) para aplicação na construção de sistemas hidráulicos alternativos de

distribuição de água à baixa pressão. **Revista de Estudos Ambientais**. Volta Redonda, v. 19, n.1, p. 18-26, jan./jun. 2017.

PALÁCIO, S. M., *et al.* Estudo da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial utilizando as espécies de *Lactuca sativa* L. e *Artemia salina*. **Engevista**, v. 14, n. 2, p. 127-134, ag. 2012.

PEDUTO T. A. G. *et al.* Sensibilidade de diferentes sementes em ensaio de fitotoxicidade. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Uberaba. v. 4, n. 2, p. 200-212, jul./set. 2019.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. 2. ed. Bauru: Ed. Canal 6, 2016.

PEREIRA, M. A. dos R. **Projeto bambu: Introdução de espécies, manejo, caracterizações e aplicações**. 2012. 208f. Tese (Livre-docência) – UNESP, Bauru, SP, 2012.

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

SALES-CAMPOS C. *et al.* Estudo da variabilidade da retenção do preservante CCA tipo A na madeira de *Brosimum rubescens* Taub. Moraceae – (pau-rainha) uma espécie madeireira da Região Amazônica. **Revista Árvore**, v. 27, n.6, p. 845-853, 2003.

SALGADO A. L. B. **Bambu com sal: aqui e agora, lá e então**. Campinas: Amaro Comunicação, 2014.

SANTOS. K. B. *et al.* Análise de fitotoxicidade do herbicida glifosato (Roundup). In 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2019, Uberlândia. **Anais [...]**. Uberlândia, 2019.

SARLO, H. B. **Influência das fases da lua, da época de corte e das espécies de bambus sobre o ataque de *Dinoderus minutus***. 2000. 123f. Tese (Pós-Graduação em Ciência Florestal) – UFV, Viçosa, MG, 2000.

SHIMANO, M. M. **Histerese de fêmures de ratas submetidos a ensaio de flexão, em diferentes faixas etárias**. 2001. 82f. Dissertação (Mestrado em Bioengenharia) - USP, Ribeirão Preto, SP, 2001.

SILVA, C. A. **Resistência do bambu *Dendrocalamus giganteus* Munro tratado ao ataque de fungos apodrecedores**. 2013. 37f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) - UNB, Brasília, 2013.

SILVA, G. A. da. **A lixiviação se cobre, cromo, arsênio e boro em madeira recém tratada com preservativos hidrossolúveis, segundo procedimentos da NBR 10005:2004**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo, São Paulo, 2008.

SILVA, J.N.; MATTIOLO, S.R. **Fitotoxicidade do dicromato de potássio em sementes de alface (*Lactuca sativa*)**. 2011. 2f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Paulista, São Paulo, 2011.

SOBRERO, M. C.; RONCO, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de águas. **IDRC/IMTA**. Canadá, v. 4, p. 71-79, 2004.

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

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

TIBURTINO, R. F. *et. al.* Influência do diafragma no tratamento preservativo de duas espécies de bambu por substituição de seiva. **Revista Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 3, p. 925-938, jul./set. 2016.

TIBURTINO, R. F. *et al.* Resistência de duas espécies de bambu tratadas contra fungos xilófagos. **Revista árvore**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 567-574, mar. 2015.

XAVIER, L. M. **Caracterização química, física e mecânica do *Phyllostachys aurea* e sua resistência ao ataque de térmitas, preservado com ácido bórico e tanino condensável.** 2004. 44f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – UFRJ, Seropédica, RJ, 2004.

ANEXO

Tabela A 1 – Valores da perda de massa decorrente do ensaio biológico de degradação por fungos no grupo N

Fungo	Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)	Massa residual média (%)
LPF 108	1	4,73	4,23	10,57	0,89
	2	5,63	5,32	5,51	0,94
	3	4,43	4,19	5,42	0,95
	4	4,66	4,13	11,37	0,89
	5	3,94	3,67	6,85	0,93
	6	6,26	5,99	4,31	0,96
	7	5,01	4,74	5,39	0,95
	8	4,5	4,23	6,00	0,94
	9	5,02	4,61	8,17	0,92
	10	6,9	6,16	10,72	0,89
	Média	5,108	4,727	7,43	0,93
	Desvio-padrão	0,905	0,835	2,60	0,03
LPF 203	1	6,27	5,9	5,90	0,94
	2	5,61	4,64	17,29	0,83
	3	6,79	6,2	8,69	0,91
	4	4,62	4,17	9,74	0,90
	5	5,72	4,87	14,86	0,85
	6	4,44	4,14	6,76	0,93
	7	5,34	4,87	8,80	0,91
	8	4,66	4,31	7,51	0,92
	9	4,02	3,76	6,47	0,94
	10	4,7	4,24	9,79	0,90
	Média	5,217	4,710	9,58	0,90
	Desvio-padrão	0,880	0,788	3,72	0,04
LPF 206	1	4,58	4,37	4,59	0,95
	2	4,07	3,93	3,44	0,97
	3	5,11	4,94	3,33	0,97
	4	4,54	4,31	5,07	0,95
	5	4,72	4,52	4,24	0,96
	6	5,64	5,48	2,84	0,97
	7	4,39	4,24	3,42	0,97
	8	6,02	5,84	2,99	0,97
	9	3,99	3,77	5,51	0,94
	10	5,13	4,92	4,09	0,96
	Média	4,819	4,632	3,95	0,96
	Desvio-padrão	0,656	0,661	0,90	0,01

Tabela A 2 - Valores da perda de massa decorrente do ensaio biológico de degradação por fungos no grupo O

Fungo	Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)	Massa residual média (%)
LPF 108	1	5,12	4,94	3,516	0,96
	2	6,12	5,92	3,268	0,97
	3	5,1	4,78	6,275	0,94
	4	5,69	5,53	2,812	0,97
	5	5,24	4,93	5,916	0,94
	6	4,1	3,98	2,927	0,97
	7	4,37	4,22	3,432	0,97
	8	3,55	3,44	3,099	0,97
	9	4,06	3,93	3,202	0,97
	10	5,14	4,92	4,280	0,96
		Média	4,849	4,659	3,873
	Desvio-padrão	0,803	0,764	1,241	0,01
LPF 203	1	5,18	5	3,475	0,97
	2	4,66	4,2	9,871	0,90
	3	6,25	6,07	2,880	0,97
	4	4,81	4,65	3,326	0,97
	5	5,41	5,14	4,991	0,95
	6	5,83	5,51	5,489	0,95
	7	4,4	4,25	3,409	0,97
	8	3,72	3,58	3,763	0,96
	9	3,6	3,47	3,611	0,96
	10	4,44	4,29	3,378	0,97
		Média	4,830	4,616	4,419
	Desvio-padrão	0,855	0,826	2,077	0,02
LPF 206	1	3,53	3,37	4,533	0,95
	2	5,33	5,02	5,816	0,94
	3	5,53	5,14	7,052	0,93
	4	6,13	6,04	1,468	0,99
	5	6,25	5,29	15,36	0,85
	6	5,65	5,4	4,425	0,96
	7	6,39	6,15	3,756	0,96
	8	6,28	6	4,459	0,96
	9	5,75	5,67	1,391	0,99
	10	5,6	5,24	6,429	0,94
		Média	5,644	5,232	5,469
	Desvio-padrão	0,877	0,846	4,167	0,09

Tabela A 3 - Valores da perda de massa decorrente do ensaio biológico de degradação por fungos no grupo CB1

Fungo	Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)	Massa residual média (%)
LPF 108	1	6,64	6,35	4,367	0,96
	2	5,12	4,96	3,125	0,97
	3	6,09	5,73	5,911	0,94
	4	5,69	5,46	4,042	0,96
	5	4,04	3,88	3,960	0,96
	6	5,22	4,97	4,789	0,95
	7	4,4	4,25	3,409	0,97
	8	5,35	5,11	4,486	0,96
	9	6	5,81	3,167	0,97
	10	6,09	5,77	5,255	0,95
		Média	5,464	5,229	4,251
	Desvio-padrão	0,807	0,754	0,907	0,01
LPF 203	1	5,08	4,89	3,740	0,96
	2	4,45	4,28	3,820	0,96
	3	4,12	3,94	4,369	0,96
	4	6,48	6,27	3,241	0,97
	5	4,77	4,26	10,692	0,89
	6	5,74	5,3	7,666	0,92
	7	4,87	4,57	6,160	0,94
	8	6,99	6,37	8,870	0,91
	9	5,17	4,99	3,482	0,97
	10	6,35	6	5,512	0,94
		Média	5,402	5,087	5,755
	Desvio-padrão	0,948	0,875	2,564	0,03
LPF 206	1	5,66	5,38	4,947	0,95
	2	4,9	4,69	4,286	0,96
	3	4,48	4,2	6,250	0,94
	4	5,01	4,8	4,192	0,96
	5	4,83	4,68	3,106	0,97
	6	5,52	5,27	4,529	0,95
	7	4,01	3,86	3,741	0,96
	8	4,95	4,75	4,040	0,96
	9	4,59	4,39	4,357	0,96
	10	4,2	3,99	5,000	0,95
		Média	4,815	4,601	4,445
	Desvio-padrão	0,523	0,501	0,842	0,01

Tabela A 4 - Valores da perda de massa decorrente do ensaio biológico de degradação por fungos no grupo CB2

Fungo	Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)	Massa residual média (%)
LPF 108	1	4,23	3,9	8,462	0,92
	2	5,23	5,02	4,183	0,96
	3	5,96	5,13	16,179	0,86
	4	4,86	4,36	11,468	0,90
	5	5,74	5,49	4,554	0,96
	6	6,06	5,86	3,413	0,97
	7	5,9	5,78	2,076	0,98
	8	5,48	5,13	6,823	0,94
	9	4,89	4,59	6,536	0,94
	10	6,43	6,24	3,045	0,97
	Média	5,478	5,150	6,674	0,94
	Desvio-padrão	0,673	0,724	4,374	0,04
LPF 203	1	5,48	5,45	0,550	0,99
	2	4,38	4,05	8,148	0,92
	3	4,57	4,38	4,338	0,96
	4	5,4	5,23	3,250	0,97
	5	5,04	4,84	4,132	0,96
	6	5,69	5,25	8,381	0,92
	7	5,35	5,1	4,902	0,95
	8	5,5	5,25	4,762	0,95
	9	6,13	5,87	4,429	0,96
	10	5,33	5,11	4,305	0,96
	Média	5,287	5,053	4,720	0,96
	Desvio-padrão	0,513	0,521	2,248	0,02
LPF 206	1	5,04	4,85	3,918	0,96
	2	4,43	4,27	3,747	0,96
	3	5,23	5,07	3,156	0,97
	4	5,32	5,13	3,704	0,96
	5	5,9	5,71	3,327	0,97
	6	5,51	5,3	3,962	0,96
	7	5,61	5,43	3,315	0,97
	8	5,68	5,5	3,273	0,97
	9	6,38	6,12	4,248	0,96
	10	4,66	4,39	6,150	0,94
	Média	5,376	5,177	3,880	0,96
	Desvio-padrão	0,577	0,570	0,873	0,01

Tabela A 5 – Dados geométricos dos corpos de prova do grupo N

Fungo	Corpo de prova	Área (mm ²)	Momento de inércia (mm ⁴)
LPF 108	1	83,312	690,364
	2	96,299	892,654
	3	79,678	741,370
	4	96,964	890,472
	5	-	-
	6	86,514	813,859
	7	96,628	909,351
	8	-	-
	9	80,363	649,492
	10	78,660	592,989
LPF 203	1	98,468	996,588
	2	88,066	721,014
	3	88,949	826,013
	4	85,250	792,396
	5	91,615	930,529
	6	-	-
	7	102,080	1098,945
	8	77,072	604,521
	9	-	-
	10	83,152	675,868
LPF 206	1	92,029	923,634
	2	75,793	615,544
	3	112,623	1282,818
	4	-	-
	5	78,943	766,436
	6	85,206	639,473
	7	90,659	786,254
	8	96,857	914,551
	9	94,640	831,824
	10	-	-

Tabela A 6 – Dados geométricos dos corpos de prova do grupo O

Fungo	Corpo de prova	Área (mm ²)	Momento de inércia (mm ⁴)
LPF 108	1	89,400	555,380
	2	77,505	419,714
	3	77,224	510,829
	4	76,816	508,798
	5	-	-
	6	109,091	941,080
	7	73,420	444,973
	8	74,562	568,102
	9	83,404	696,001
	10	-	-
LPF 203	1	112,956	1842,718
	2	70,785	417,935
	3	102,033	823,719
	4	76,200	651,863
	5	81,403	578,447
	6	-	-
	7	81,250	667,964
	8	-	-
	9	87,041	542,714
	10	93,805	744,547
LPF 206	1	81,265	678,679
	2	84,528	581,636
	3	81,654	613,970
	4	76,571	596,461
	5	105,466	882,804
	6	-	-
	7	83,178	477,176
	8	76,521	500,582
	9	124,859	2233,751
	10	124,455	1960,581

Tabela A 7 – Dados geométricos dos corpos de prova do grupo CBI

Fungo	Corpo de prova	Área (mm ²)	Momento de inércia (mm ⁴)
LPF 108	1	76,219	504,649
	2	96,592	978,906
	3	99,934	1035,760
	4	99,415	946,171
	5	92,373	918,248
	6	99,416	1115,925
	7	73,111	434,028
	8	83,163	649,609
	9	111,939	1302,988
	10	96,674	1155,301
LPF 203	1	84,788	813,881
	2	91,099	777,735
	3	-	-
	4	102,898	1172,127
	5	84,259	732,957
	6	95,637	934,852
	7	73,635	580,890
	8	83,143	736,689
	9	83,280	707,185
	10	87,014	740,394
LPF 206	1	87,670	750,133
	2	93,854	871,023
	3	90,110	758,499
	4	100,995	1171,430
	5	65,515	371,921
	6	104,978	1055,433
	7	91,513	760,656
	8	93,652	791,528
	9	93,656	951,450
	10	103,818	1137,927

Tabela A 8 – Valores do Módulo de Elasticidade (E), Módulo de Ruptura e Deflexão de ruptura resultados do teste de flexão para o grupo N

Fungo	Corpo de prova	E (MPa)	MOR (KPa)	Deflexão (mm)
LPF 108	1	6057,774	80,243	1,203
	2	7523,627	94,337	1,499
	3	4041,323	55,607	1,423
	4	5262,873	68,281	1,319
	5	-	-	-
	6	6538,360	75,279	1,409
	7	5984,903	99,196	1,625
	8	-	-	-
	9	4583,091	45,753	1,003
	10	4140,321	39,429	0,938
	Média	5516,534	69,765	1,302
	Desvio padrão	1230,025	21,744	0,240
LPF 203	1	5198,209	69,052	1,210
	2	6012,849	80,760	1,693
	3	4621,765	61,659	1,328
	4	4817,098	59,200	1,308
	5	5797,168	63,178	1,358
	6	-	-	-
	7	4260,375	67,516	1,409
	8	5190,550	55,224	1,350
	9	-	-	-
	10	6006,811	70,279	1,179
	Média	5238,103	65,858	1,354
	Desvio padrão	656,900	7,899	0,157
LPF 206	1	5523,340	63,770	1,274
	2	8581,595	63,477	1,260
	3	5328,402	65,166	1,251
	4	-	-	-
	5	8005,082	65,468	1,058
	6	8826,549	45,023	0,526
	7	4792,644	42,438	0,868
	8	4047,082	53,244	1,393
	9	4688,668	53,284	1,251
	10	-	-	-
	Média	6224,170	56,484	1,110
	Desvio padrão	1925,089	9,316	0,286

Tabela A 9 – Valores do Módulo de Elasticidade (E), Módulo de Ruptura e Deflexão de ruptura resultados do teste de flexão para o grupo O

Fungo	Corpo de prova	E (MPa)	MOR (KPa)	Deflexão (mm)
LPF 108	1	6422,721	55,834	0,916
	2	6988,893	96,969	1,433
	3	4530,410	33,464	0,708
	4	4947,810	19,405	0,379
	5	-	-	-
	6	3791,861	36,817	1,003
	7	5306,233	25,570	0,626
	8	6408,124	18,627	0,420
	9	6179,160	14,560	0,260
	10	-	-	-
	Média	5571,901	37,656	0,718
	Desvio padrão	1102,796	27,364	0,388
LPF 203	1	2955,983	55,140	1,949
	2	5609,367	32,978	0,744
	3	3873,341	36,334	1,586
	4	3994,496	40,097	1,359
	5	5649,297	22,646	0,420
	6	-	-	-
	7	4509,490	30,378	0,985
	8	-	-	-
	9	10288,675	42,927	0,745
	10	4018,551	46,454	1,448
	Média	5112,400	38,369	1,154
	Desvio padrão	2277,974	10,104	0,514
LPF 206	1	4061,326	64,395	1,635
	2	8642,060	51,227	0,675
	3	7890,672	41,607	0,579
	4	3309,100	34,203	1,341
	5	4436,210	32,078	0,685
	6	-	-	-
	7	8989,044	120,680	1,525
	8	8620,232	41,646	0,803
	9	5205,490	93,640	1,264
	10	3201,965	71,041	1,020
	Média	6039,567	61,168	1,058
	Desvio padrão	2455,761	29,875	0,396

Tabela A 10 – Valores do Módulo de Elasticidade (E), Módulo de Ruptura e Deflexão de ruptura resultados do teste de flexão para o grupo CB1

Fungo	Corpo de prova	E (MPa)	MOR (KPa)	Deflexão (mm)
LPF 108	1	7602,836	86,614	1,323
	2	5444,750	66,757	1,153
	3	4315,632	81,629	1,755
	4	7129,454	107,002	1,585
	5	7006,742	120,179	1,614
	6	6201,076	88,390	1,315
	7	6616,671	47,039	1,039
	8	8243,169	93,112	1,323
	9	4625,410	76,209	1,498
	10	4864,081	53,057	1,104
	Média	6204,982	81,999	1,371
	Desvio padrão	1342,296	22,594	0,237
LPF 203	1	5209,285	82,818	1,655
	2	5815,695	117,111	2,004
	3	-	-	-
	4	4890,760	85,226	1,663
	5	8537,383	126,628	1,564
	6	6048,196	119,199	1,534
	7	8106,587	76,097	1,130
	8	5547,998	98,876	1,931
	9	7422,020	85,307	1,220
	10	8111,459	103,072	1,343
	Média	6632,154	99,370	1,560
	Desvio padrão	1407,840	18,297	0,296
LPF 206	1	5451,222	54,020	1,094
	2	5535,455	80,055	1,404
	3	4883,349	84,828	1,606
	4	7523,762	88,889	1,036
	5	3581,942	64,864	0,928
	6	4411,205	108,849	1,761
	7	5500,923	45,627	0,841
	8	8343,883	108,858	1,339
	9	4689,666	71,352	1,305
	10	5954,857	91,406	1,405
	Média	5587,626	79,875	1,272
	Desvio padrão	1422,765	21,233	0,295

Tabela A 11 – Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo N – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	9,7	7,5
4	12	8,4
5	9,9	19
6	7,4	2,5
7	1,6	0,8
8	2,7	0,8
9	1,7	0,8
10	0,8	0
Média	4,580	3,980
Desvio-padrão	4,648	6,124

Tabela A 12 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo N – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	9,6	8
4	7,6	4,1
5	5,5	2,2
6	8	4,4
7	2,6	0,8
8	2,7	0
9	2,6	0
10	3,1	0,6
Média	4,170	2,010
Desvio-padrão	3,345	2,700

Tabela A 13 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo N – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	14,3	7
4	13,2	7,2
5	11,3	5,3
6	8,7	3,6
7	15,5	9,9
8	8,6	8,5
9	2,9	4,2
10	2,5	0
Média	7,700	4,570
Desvio-padrão	5,945	3,666

Tabela A 14 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo N – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	14	12,7
4	8,1	5,9
5	5	5,1
6	8,3	4,9
7	1,2	2,8
8	3,3	1,9
9	0,9	0
10	2	0
Média	4,280	3,330
Desvio-padrão	4,588	4,037

Tabela A 15 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O5 – Repetição

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	0,000	0,000
Desvio-padrão	0,000	0,000

Tabela A 16 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O5 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	0,000	0,000
Desvio-padrão	0,000	0,000

Tabela A 17 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O5 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	1,5
10	0	0,8
Média	0,000	0,230
Desvio-padrão	0,000	0,512

Tabela A 18 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O5 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	1,4	0
10	0,8	0
Média	0,220	0,000
Desvio-padrão	0,485	0,000

Tabela A 19 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O6 – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	8,8	2
9	4,2	0
10	7	1
Média	2,000	0,300
Desvio-padrão	3,401	0,675

Tabela A 20 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O6 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	4	0
9	3,8	0
10	10,1	0
Média	1,790	0,000
Desvio-padrão	3,340	0,000

Tabela A 21 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O6 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	2,6	0
10	3,4	0
Média	0,600	0,000
Desvio-padrão	1,279	0,000

Tabela A 22 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O6 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	2,1	0
9	5,6	0
10	7,4	0
Média	1,510	0,000
Desvio-padrão	2,743	0,000

Tabela A 23 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O7 – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2,8	0
2	7,4	5
3	5,2	1
4	8	2,1
5	6,8	2
6	0,7	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	3,090	1,010
Desvio-padrão	3,414	1,640

Tabela A 24 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O7 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	7,4	1
2	0,8	0
3	0,6	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	0,880	0,100
Desvio-padrão	2,310	0,316

Tabela A 25 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O7 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	4,1	0
2	1,1	0
3	3,8	0
4	1	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	1,000	0,000
Desvio-padrão	1,615	0,000

Tabela A 26 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo O7 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	9,9	0
2	6,2	2,4
3	5,3	7
4	0,8	0
5	5	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	2,720	0,940
Desvio-padrão	3,593	2,259

Tabela A 27 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB4 – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	1,8	0
2	1,7	0
3	1,7	0
4	2,1	0
5	0,7	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	0,800	0,000
Desvio-padrão	0,914	0,000

Tabela A 28 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB4 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2,7	0
2	2	0
3	1,4	0
4	1,2	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	0,730	0,000
Desvio-padrão	1,020	0,000

Tabela A 29 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB4 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	1,5	0
2	1,6	0
3	1,5	0
4	0,9	0
5	1,1	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	0,660	0,000
Desvio-padrão	0,724	0,000

Tabela A 30 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB4 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2,1	0
2	1,4	0
3	1,3	0
4	3,4	0,4
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	0,820	0,040
Desvio-padrão	1,197	0,126

Tabela A 31 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB5 – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	5	1,8
2	4,6	1
3	5	0,5
4	4,3	0,3
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	1,890	0,360
Desvio-padrão	2,448	0,604

Tabela A 32 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB5 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0,7	0
2	0,6	0
3	2,1	0,5
4	4,7	0,4
5	4	1
6	4,5	1
7	3,7	0,5
8	4,4	0,4
9	0	0
10	0	0
Média	2,470	0,380
Desvio-padrão	1,990	0,391

Tabela A 33 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB5 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0,6	0
2	0,7	0
3	1	0
4	1,6	0
5	4	1
6	5	1,4
7	6	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	1,890	0,240
Desvio-padrão	2,253	0,515

Tabela A 34 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB5 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0,5	0
2	1	0
3	2	0
4	3,7	0,5
5	4,8	0,8
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	1,200	0,130
Desvio-padrão	1,751	0,283

Tabela A 35 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB7 – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2,2	0
2	4	0,9
3	3,9	1,2
4	4,3	0,5
5	4,3	0,4
6	5,3	1
7	4	0,3
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	2,800	0,430
Desvio-padrão	2,074	0,460

Tabela A 36 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB7 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0	0
2	2,6	0
3	2,5	0,2
4	1,5	0
5	4,2	0,6
6	4,2	0,7
7	4,3	0,7
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	1,930	0,220
Desvio-padrão	1,879	0,316

Tabela A 37 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB7 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	0,9	0
2	1,5	0
3	4,3	0,4
4	4,4	0,4
5	4,8	0,3
6	5,2	0,8
7	4,3	0,5
8	3,4	0
9	0	0
10	0	0
Média	2,880	0,240
Desvio-padrão	2,057	0,284

Tabela A 38 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CCB7 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2,6	0
2	5,4	1,2
3	2,6	0
4	5	0,5
5	2,8	0
6	5,3	0,9
7	6	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	2,970	0,260
Desvio-padrão	2,390	0,450

Tabela A 39 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB5 – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	3,1	0
2	2,6	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	0,570	0,000
Desvio-padrão	1,207	0,000

Tabela A 40 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB5 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	5,5	0
2	2,6	0
3	2,5	0
4	0,6	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	1,120	0,000
Desvio-padrão	1,858	0,000

Tabela A 41 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB5 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	7,2	0
2	7,3	0
3	6,2	0
4	5,7	0
5	5,8	0
6	2	0
7	2,9	0
8	0,6	0
9	0	0
10	0	0
Média	3,770	0,000
Desvio-padrão	2,988	0,000

Tabela A 42 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB5 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2,3	0
2	3	0
3	6	0
4	6,9	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	1,820	0,100
Desvio-padrão	2,683	0,316

Tabela A 43 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB6 – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2	0
2	7,6	0
3	7,5	0
4	8,3	0
5	5,2	0
6	7,2	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	3,780	0,000
Desvio-padrão	3,695	0,000

Tabela A 44 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB6 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	6,2	0
2	6,4	0
3	8	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	2,289	0,000
Desvio-padrão	3,469	0,000

Tabela A 45 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB6 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	6,4	0
2	3	0
3	2,8	0
4	6,9	0
5	8,4	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	2,750	0,000
Desvio-padrão	3,339	0,000

Tabela A 46 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB6 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2,8	0
2	3,5	0
3	8,9	0
4	9,1	0
5	6,1	0
6	4,2	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	3,460	0,000
Desvio-padrão	3,609	0,000

Tabela A 47 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB7 – Repetição 1

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	5,8	0
2	2,3	0
3	3,6	0
4	7,7	0
5	4,4	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	2,380	0,000
Desvio-padrão	2,865	0,000

Tabela A 48 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB7 – Repetição 2

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	7,2	0
2	4,9	0
3	5,4	0
4	7,7	0
5	2,8	0
6	4,3	0
7	5	0
8	3	0
9	0	0
10	0	0
Média	4,030	0,000
Desvio-padrão	2,629	0,000

Tabela A 49 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB7 – Repetição 3

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	5,9	0
2	4,5	0
3	5,6	0
4	0,6	0
5	0,7	0
6	5,3	0
7	5,6	0
8	6,2	0
9	0	0
10	0	0
Média	3,440	0,000
Desvio-padrão	2,725	0,000

Tabela A 50 - Valores do crescimento do hipóclito e da radícula para o grupo CB7 – Repetição 4

Semente	Tamanho do Hipóclito (mm)	Tamanho da Radícula (mm)
1	2,3	0
2	3	0
3	6	0
4	6,9	1
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0
10	0	0
Média	1,820	0,100
Desvio-padrão	2,683	0,316