



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,
INOVAÇÃO E TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA –
CITA**

**BIOPROSPECÇÃO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS DE
Guadua spp. COM POTENCIAL PARA O TRATAMENTO
PRESERVATIVO DE BAMBU PARA FINS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

FERNANDA VIANA DINIZ

RIO BRANCO – AC
MARÇO - 2020

FERNANDA VIANA DINIZ

**BIOPROSPECÇÃO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS DE
Guadua spp. COM POTENCIAL PARA O TRATAMENTO
PRESERVATIVO DE BAMBU PARA FINS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, da Universidade Federal do Acre, como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Ciência e Inovação Tecnológica.**

Orientador: Profa. Dra. Clarice Maia Carvalho

Co-orientador: Profa. Dra. Leila Priscila Peters

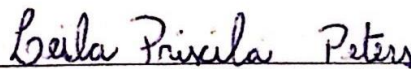
RIO BRANCO - AC
MARÇO – 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, INOVAÇÃO E
TECNOLOGIA PARA A AMAZÔNIA – CITA

BIOPROSPECÇÃO DE FUNGOS ENDOFÍTICOS DE
Guadua spp. **COM POTENCIAL PARA O TRATAMENTO**
PRESERVATIVO DE BAMBU PARA FINS DE
CONSTRUÇÃO CIVIL.

FERNANDA VIANA DINIZ

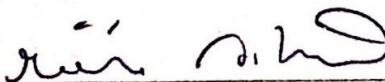
DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 02 de março de 2020.



LEILA PRISCILA PETERS

Co-orientadora

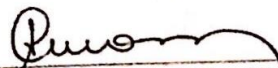
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE - UFAC



MOISES SILVEIRA LOBÃO

Membro externo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE - UFAC



PATRICIA GOMES RIBEIRO AMORIM

Membro externo

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE - UFAC

À Deus, minha mãe, irmãs e meu namorado,
que com muito carinho e apoio, não
mediram esforços para que eu chegasse até
esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus por permitir a conclusão deste trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais Genedite Viana e Luziano Lopes, por serem os meus maiores incentivadores.

À minha mamãe científica Prof^a Dr^a Clarice Maia Carvalho, por estar comigo desde o início da graduação até os dias de hoje, confiando a mim a execução e conclusão deste trabalho e principalmente por me ensinar os caminhos da ciência, a qual foi essencial para o meu crescimento e desenvolvimento como profissional.

À minha co-orientadora Prof^a Dr^a Leila Peters por ser uma grande amiga e sempre estar disposta ajudar em meio às dificuldades que surgiram no meio do caminho.

Ao Prof. Dr. Moisés Lobão que sempre esteve disposto á ajudar com seus conhecimentos, sendo primordial na execução deste trabalho.

Ao meu amigo Franciarli Paz, por ser um dos grandes presentes que o mestrado me proporcionou, sendo um maravilhoso companheiro de bancada sempre disposto a me ouvir, dar conselhos e principalmente por alegrar o laboratório com seu jeito espontâneo de ser.

Aos meus amigos do mestrado e parceiros de choro, Leandro Cavalcante, Yara Magalhães, Geyse Souza, Gleison Mendonça, Veluma Martins e Iasminy Ferreira por terem tornado os meus dias em laboratório mais leves e felizes.

Ao meu namorado Marcelo Moraes, pela paciência e apoio durante toda esta caminhada e por sempre me apoiar e acreditar em mim.

À toda equipe do Laboratório de Microbiologia da UFAC (LABMICRO) pela parceira e conhecimentos compartilhados.

Ao Laboratório de Nanotecnologia por proporcionar suporte em diversos momentos durante a execução dos experimentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Acre (FAPAC) pelo financiamento deste projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa.

À Universidade Federal do Acre por disponibilizar recursos para o desenvolvimento deste trabalho

À todos que colaboraram direta ou indiretamente para a conclusão deste sonho.

RESUMO

O bambu é uma planta amplamente distribuída na Amazônia, com sete milhões de hectares nativos, sendo o estado do Acre detentor de 38% das florestas deste gênero. Todavia, a baixa durabilidade do colmo devido ao ataque de fungos apodrecedores dificulta sua aplicação na indústria. Uma forma de controlar esse problema, seria pelo uso de bioativos produzidos por fungos endofíticos associados ao bambu, visto estes albergam uma rica fonte de moléculas ativas que podem ser utilizadas para o tratamento preservativo. Assim, o objetivo do trabalho foi selecionar fungos endofíticos com potencial para o tratamento preservativo de bambu (*Guadua* spp.). Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliográfico entre os anos de 2009-2019 das principais aplicações do bambu na Construção Civil em quatro áreas distintas: Estruturas, Materiais de Construção, Hidráulica e Pavimentação. No total, 21 espécies foram identificadas entre os trabalhos, sendo os gêneros encontrados: *Bambusa*, *Guadua*, *Phyllostachys*, *Dendrocalamus*, *Gingantocloa*, *Neosinocalamus* e *Melocanna*. Entre as espécies mais utilizadas se destacaram *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens* encontrada com frequência de 13,9% cada uma. 61% dos estudos foram voltados para o reforço de materiais de construção, 27,8% para estruturas e apenas 11,2% para hidráulica. Para pavimentação, nenhum estudo foi identificado. A produção de painéis a partir de fibras de bambu foi a aplicação mais presente, com 8 trabalhos. Em relação aos testes experimentais, foram isolados 123 fungos apodrecedores de *Guadua* spp., agrupados em 41 morfoespécies. Foram identificados os gêneros *Acremonium* (14,6%), *Fusarium* (12,2%), *Absidia* (8,9%), *Trichoderma* (5,7%), *Cylindrocladium* (2,4%), *Botrytis* (0,8%), *Penicillium* (0,8%) e *Aspergillus* (0,8%) e não identificados (53,8%). Os fungos apodrecedores *Fusarium chlamydosporum* (7.3), *Fusarium oxysporum* (7.21) e NI sp. 3 (7.25) apresentaram os maiores valores para atividade celulolítica e lignolítica, sendo selecionados para os testes de antagonismo frente aos extratos de fungos endofíticos. Foram isolados 166 fungos endofíticos de *Guadua* spp. agrupados em 42 morfoespécies. Os gêneros identificados foram: *Fusarium* (21,1%), *Xylaria* (13,3%), *Cladosporium* (9,6%), *Botrytis* (4,8%), *Colletotrichum* (5,4%), *Penicillium* (5,4%), *Aspergillus* (2,4%), *Verticillium* (0,6%), *Graphium* (0,6%), *Hypoxyton* (0,6%) e não identificados (36,2%). De 42 extratos testados, 13 demonstraram atividade antagônica a pelo menos um fungo apodrecedor testado. Dois extratos apresentaram maior espectro de antagonismo, sendo o primeiro referente ao fungo *Hypoxyton fendleri* (2.5702) a qual reduziu o crescimento das colônias fúngicas em todas as concentrações testadas e o segundo NI sp. 20 (2.5767) reduziu o crescimento variando de 250 mg.ml⁻¹ a 32,25 mg.ml⁻¹. Assim foi possível evidenciar o potencial de extratos de fungos endofíticos de *Guadua* spp. para inibição *in vitro* do crescimento de seus fungos apodrecedores, podendo ser uma alternativa promissora para o tratamento preservativo de colmos de bambu.

Palavras-chaves: Enzimas lignocelulolíticas; fungos apodrecedores; extratos metabólitos.

ABSTRACT

Bamboo is a plant widely distributed in the Amazon, with seven million native hectares, with the state of Acre holding 38% of the native forests of this genus. However, the low durability of the stem is caused by fungi attacks that hinder its application in the industry. As a way of controlling this problem, it is possible to use bioactive agents used by fungi associated with bamboo, as these contain a rich source of active molecules that can be used for preservative treatment. Thus, the objective of the work was to select the endophytic fungi with potential for the preservative treatment of bamboo (*Guadua* spp.). First, a bibliographic survey was carried out between 2009 and 2019 of the main applications of bamboo in civil construction in four different areas: Structures, Construction Materials, Hydraulics and Paving. In total, 21 species were identified among the works, with the genera found: *Bambusa*, *Guadua*, *Phyllostachys*, *Dendrocalamus*, *Gingantocloa*, *Neosinocalamus* and *Melocanna*. Among the most used species, *Guadua angustifolia* and *Phyllostachys pubescens* stand out, found with a frequency of 13.9% each. 61% of the studies were aimed at reinforcing building materials, 27.8% for structures and only 11.2% for hydraulics. For paving, no studies were identified. The production of panels from bamboo fibers was applied more present, with 8 works. Regarding the experimental tests, 123 rotting fungi of *Guadua* spp. were identified, grouped into 41 morphospecies. The genera *Acremonium* (14.6%), *Fusarium* (12.2%), *Absidia* (8.9%), *Trichoderma* (5.7%), *Cylindrocladium* (2.4%), *Botrytis* (0.8%), *Penicillium* (0.8%) and *Aspergillus* (0.8%) and unused (53.8%). The decaying fungi *Fusarium chlamydosporum* (7.3), *Fusarium oxysporum* (7.21) and NI sp. 3 (7.25) presented the highest values for cellulolytic and lignolytic activity, being selected for antagonism tests against extracts of endophytic fungi. 166 endophytic fungi from *Guadua* spp. grouped into 42 morphospecies. The genera used were: *Fusarium* (21.1%), *Xylaria* (13.3%), *Cladosporium* (9.6%), *Botrytis* (4.8%), *Colletotrichum* (5.4%), *Penicillium* (5.4%), *Aspergillus* (2.4%), *Verticillium* (0.6%), *Graphium* (0.6%), *Hypoxylon* (0.6%) and not applied (36.6%). (2.5702), which reduces the growth of fungal colonies in all tests tested and the second NI sp. 20 (2.5767) ranging from 250 mg.ml⁻¹ to 32.25 mg.ml⁻¹. Thus, it was possible to demonstrate the extraction potential of endophytic fungi from *Guadua* spp. for in vitro inhibition of the growth of its decaying fungi, it can be a promising alternative for the preservative treatment of bamboo stems.

Keywords: Lignocellulolytic enzymes; decaying fungi; metabolite extracts.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fluxograma de seleção dos artigos para revisão de literatura sobre aplicações de bambu na construção civil.....	44
Figura 2. Frequência de espécies de bambu utilizadas em diferentes áreas da construção civil.....	45
Figura 3. Tipos de aplicações de bambu dentro de três grandes áreas das construção civil.....	46
Figura 4. Isolamento de fungos apodrecedores de bambu <i>Guadua</i> spp.; A. Método de Shearer et al., (2004); B. Método de Araújo et al., (2010).....	63
Figura 5. Atividade lignocelulolítica de fungos apodrecedores isolados de bambu <i>Guadua</i> sp.; A. Atividade celulolítica positiva com formação de halo de degradação em meio Ágar-carboximetilcelulose; B. Atividade lignolítica positiva para enzima Manganês Peroxidase (MnP) pela oxidação do vermelho de fenol.....	65
Figura 6. Isolamento e caracterização de fungos endofíticos de bambu <i>Guadua</i> spp.; A. Isolamento de fungos endofíticos de folha de <i>Guadua</i> spp. em meio BDA. B. Purificação; C. Caracterização macromorfológica das colônias isoladas; D. Caracterização micromorfológica por meio da visualização de estruturas reprodutivas.....	67
Figura 7. Produção em larga escala de extratos metabólitos de fungos endofíticos de bambu <i>Guadua</i> spp.; A. Crescimento dos fungos endofíticos em meio líquido BD por 14 dias; B. Filtragem dos extratos para separação do micélio fúngico; C. Partição líquido-líquido com acetato de etila; D. Extratos metabólitos na concentração 1:1.....	69
Figura 8. Esquema do ensaio de Concentração Inibitória Mínima (CIM); A. Diluição seriada dos extratos metabólitos em seis concentrações distintas; B. Ensaio de CIM com inoculação do fungo apodrecedor na região central da placa e nas periferias poços de inoculação para os extratos nas diferentes concentrações.....	70
Figura 9. Frequência de fungos apodrecedores isolados de <i>Guadua</i> spp. de acordo com a técnica utilizada.....	72
Figura 10. Diagrama de Venn mostrando as morfoespécies de fungos endofíticos isolados de folha e colmo de <i>Guadua</i> spp.....	75
Figura 11. Frequência de fungos endofíticos isolados de <i>Guadua</i> spp. de acordo com o tecido vegetal.....	75
Figura 12. Ensaio de Concentração Inibitória Mínima; A1, A2 e A3. Placas	

controle para os fungos apodrecedores *F. chlamydosporum*, *F. oxysporum* e 7.25 respectivamente; **B1, B2 e B3.** Fungos apodrecedores *F. chlamydosporum*, *F. oxysporum* e 7.25 respectivamente, frente ao extrato de *H. fendleri* 5702; **C1, C2 e C3.** Fungos apodrecedores *F. chlamydosporum*, *F. oxysporum* e 7.25 respectivamente frente ao extrato 2.5767..... 76

LISTA DE QUADROS E TABELAS

	Pág.
Quadro 1. Metabólitos secundários de fungos endofíticos com atividade antifúngica.....	28
Tabela 1. Aplicações de bambu quanto à espécie, aplicação e teste experimental.....	47
Tabela 2. Produção de enzimas lignocelulolíticas por fungos apodrecedores de <i>Guadua</i> spp.	74
Tabela 3. Índices de diversidade para fungos endofíticos isolados de folhas e colmos de <i>Guadua</i> spp.	75
Tabela 4. Média de crescimento em milímetros de fungos apodrecedores de <i>Guadua</i> spp. frente aos extratos de fungos endofíticos de <i>Guadua</i> spp.	77
Tabela 5 Identificação molecular de fungos apodrecedores e endofíticos de <i>Guadua</i> spp.....	78
Tabela 6 Média de crescimento em milímetros de fungos apodrecedores de <i>Guadua</i> spp. frente aos extratos metabólitos dos fungos <i>H. fendleri</i> (2. 5702) e NI sp. 20 (2.5767), nas concentrações de 1000, 500, 250, 125 62,5 e 31,25 mg.ml ⁻¹	78

LISTA DE ABREVIATURAS

AAO Álcool arílico-oxidase
ABPM Associação Brasileira de Preservadores da Madeira
ANOVA Análise de variância
BD Batata-dextrose
BDA Batata-dextrose-ágar
BGL β -glicosidases
CBH Exo-1,4- β -glucanases
CCA Arseniato de cobre cromatado
CCB Borato de cobre cromatado
CDH Celobiose desidrogenase
CIM Concentração inibitória mínima
CMC Ágar carboximetilcelulose
DMSO Dimetilsulfóxido
DNA Ácido desoxirribonucleico
EG Endo-1,4- β -glucanases
FDH Desidrogenase de formiato dependente de NAD
GLO Glioxal oxidase
IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IE Índice enzimático
ITS Espaçador interno transcrito
LiP Lignina peroxidase
MnP Manganês peroxidase
NBR Norma Brasileira
NI Não identificado
ODC Oxalato descarboxilase
PCR Reação em cadeia da polimerase
UFAC Universidade Federal do Acre
VP Peroxidases versáteis

SUMÁRIO

	Pág.
1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Bambu no setor Florestal.....	16
2.2 Fungos apodrecedores.....	18
2.2.1 Enzimas degradadoras de lignocelulose.....	21
2.2.2 Prejuízos causados por fungos apodrecedores.....	23
2.4 Tratamento preservativo de bambu.....	24
2.5 Fungos endofíticos.....	27
3. REFERÊNCIAS	30
4. OBJETIVOS.....	38
CAPÍTULO I - Aplicações de bambu na construção civil: Revisão sistemática.....	40
1.1 INTRODUÇÃO.....	40
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
1.3 RESULTADOS.....	44
1.4 DISCUSSÃO.....	48
1.5 CONCLUSÃO.....	52
1.6 REFERÊNCIAS	53
CAPÍTULO II – Bioprospecção de fungos endofíticos de <i>Guadua</i> spp. com potencial para o tratamento preservativo de bambu.....	59
2.1 INTRODUÇÃO.....	61
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.3 RESULTADOS.....	71
2.4 DISCUSSÃO.....	79
2.5 CONCLUSÃO.....	85
2.6 REFERÊNCIAS.....	86
CONCLUSÕES GERAIS.....	92

1. INTRODUÇÃO GERAL

O bambu é matéria prima industrial sustentável, considerado como potencial substituto à madeira serrada, a qual tem participação ativa no comércio internacional, sendo estimado entre US\$ 5 e 10 bilhões anuais (KAUR et al., 2016). É uma planta com crescimento acelerado, atingindo altura de 30 metros num período curto de 3 a 6 meses, devido a incrementos diários de 15-18 cm (GRATANI et al., 2008; LOU et al., 2010). Dentre os bambus lenhosos de maior ocorrência no Brasil, destaca-se o gênero *Guadua* spp. por estar em grandes quantidades, principalmente nos estados do Acre e Pará (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Espécies como *Guadua angustifolia*, *Pyllostachys pubescens* e *Dendrocalamus asper* são as mais utilizadas na construção civil, apresentando potencial para a substituição de diversos materiais poluentes como o cimento e concreto armado (DINIZ et al., 2019). Os materiais convencionais utilizados, como o cimento é responsável pela emissão de 5% de CO₂ numa escala mundial, referente a indústria de processamento (FELIX; POSSAN, 2018). Além disso, problemas de despejo de toneladas de entulho de difícil degradação tem promovido impactos ambientais e alterações na paisagem (AGOPYAN, 2013). Deste modo o bambu se encaixa perfeitamente como um aliado a redução da poluição ambiental por substituir materiais poluentes na fabricação de produtos utilizados nesta indústria.

Apesar das inúmeras vantagens, bem como a alta oferta de matéria prima natural, o Brasil ainda possui dificuldade em alavancar essa indústria. O principal problema que tem dificultado o uso em larga escala é a baixa durabilidade do material. O bambu é um material sujeito a deterioração por ser sensível as intempéries ambientais e principalmente a organismos xilófagos, como fungo apodrecedores (FEI et al., 2016). Características como alto teor de amido nas células parenquimáticas, além de açúcar, proteínas e gordura, tornam o bambu atrativo para fungos apodrecedores (SUN et al., 2011). Estes são

pertencentes aos Filos Ascomycota e Basidiomycota causando manchas escuras e podridão do colmo levando a perda das características físico-mecânicas e conseqüentemente depreciação do valor comercial do bambu (VENA et al., 2013).

A baixa durabilidade do bambu, acometido por biodeterioração, tem gerado anualmente perdas de 10 % da produção total (WU et al., 2019). O ataque por fungos é o principal problema relacionado ao armazenamento e durabilidade de produtos de bambu (VENA et al., 2013). Estima-se que 25% da produção total seja perdida durante o processo de estocagem, danificando o colmo em suas propriedades físicas e mecânicas, as tornando impróprias para uso comercial (KIM et al., 2011).

O controle químico é o principal método utilizado para prevenir o problema, quando se pensa em produção em larga escala. Este método está baseado na utilização de produtos à base de arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C), borato de cobre cromatado (CCB), cifutrina, cipermetrina, deltametrina, fipronil entre outros (VIDAL et al., 2015). CCA e CCB são os mais utilizados, no entanto, segundo a norma brasileira NBR 10004:2004 (ABNT, 2004), são produtos classe 1 de toxicidade, extremamente tóxicos, por apresentarem em sua constituição metais pesados como arsênio e cromo.

Assim, pesquisadores têm demandado esforços para a busca de novas tecnologias baseadas na sustentabilidade que agreguem a indústria de preservativos madeireiros sem causar impactos ao homem e meio ambiente (SCHULTZ, 2014). Nesse sentido, a utilização de metabólitos microbianos é considerada uma alternativa para preservação do bambu contra fungos apodrecedores (GARCIA-ORTIZ et al., 2017). Entre as possibilidades de uso, destacam-se os bioativos produzidos por fungos endofíticos.

Estes organismos vivem no interior de tecidos vegetais, em associação simbiótica com a planta parte do seu ciclo de vida, onde metabólitos secundários ativos são produtos da associação endófito/planta. A literatura relata várias substâncias antifúngicas

produzidas por fungos endofíticos, como as naftaquinonas e aza-antraquinonas produzidas por *Fusarium solani* (KHAN et al., 2018), e furan-2-ol e furan-2-carbonatoproduzidos por *Emericella* sp. (WU et al., 2018). Além disso, em estudo utilizando metabólitos do fungo endofítico *Phaeothea dimorphospora* no tratamento de painéis OSB, foi possível observar a inibição do crescimento micelial de fungos de podridão branca e parda (YANG et al., 2007) reafirmando o potencial de proteção biológica que metabólitos de fungo endofítico podem proporcionar.

Diante desse contexto, alternativas sustentáveis, como a utilização de metabólitos de fungos endofíticos, pode ser a chave para a redução no uso de conservantes químicos no mercado preservativo de bambu e conseqüentemente para a geração de tecnologia mais segura e amigável ao meio ambiente. Além disso, pode ser a solução para baixa durabilidade do bambu e conseqüentemente promover o uso em larga escala desta matéria prima na indústria da construção civil. Logo, o objetivo deste trabalho foi selecionar fungos endofíticos de *Guadua* spp. com potencial para o tratamento preservativo de bambu para fins de construção civil.

1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Bambu no setor florestal

O Setor Florestal Brasileiro é um mercado que tem atuado fortemente na economia nacional. Com uma receita bruta de 73,8 bilhões de reais ao ano, o Brasil é líder mundial na siderurgia pela produção de carvão vegetal, além de ser o segundo maior produtor de celulose e papel, estando também, entre os 10 maiores produtores de painéis de madeira do mundo (IBÁ, 2018). A cobertura florestal tropical nativa chega a ocupar 485,8 milhões de hectares, reserva superior quando comparado às florestas plantadas (7,8 milhões/ha) (IBÁ, 2016).

O comercio de produtos madeireiros de florestas tropicais participam ativamente do desenvolvimento de 33 países. Calcula-se que anualmente sejam comercializados cerca de 13,2 milhões de metros cúbicos de madeira tropical (ITTO, 2014). Todavia, é esperado que a floresta tropical, principalmente da América do Sul, continue se exaurindo, devido ao crescimento populacional e a demanda por mais produtos florestais (D'ANNUNZIO et al., 2015). Assim, nos últimos anos, pesquisadores têm investido esforços para busca de materiais alternativos com propriedades semelhantes à madeira. Nesse contexto, um dos principais materiais explorados tem sido o bambu (KAUR et al., 2016).

Trata-se de uma planta pertencente à família Poaceae e subfamília Bambusoideae com mais de 1200 espécies descritas. A planta ocorre naturalmente em várias regiões do mundo, desde regiões de clima temperado até regiões tropicais (LIU et al., 2012). O bambu é uma das espécies florestais com crescimento mais rápido do planeta, podendo acrescentar cerca de 10-20 colmos por ano e com incrementos diários de 15-18 cm, tornando seu ciclo produtivo curto (GRANI et al., 2008; LOU et al., 2010).

O mercado mundial de bambu encontra-se principalmente em países asiáticos. Trata-se de uma matéria prima industrial com diversas aplicações tendo participação ativa no comércio internacional estando estimado entre US\$ 5 e 10 bilhões (KAUR et al., 2016). 57,3% do volume de exportação mundial está sob comando da China, seguido por Indonésia (14,8%), União Européia (3%), EUA (1,7%), Filipinas (1,6%), Tailândia (1%), Cingapura (1%), Myanmar (0,8%) e Malásia (0,8%) (MCI, 2013). O Bambu tem proporcionado o desenvolvimento de vários países devido a suas potencialidades de aplicações em inúmeros setores como construção civil, combustível, artesanatos, alimentação entre outros. Cerca de 2,5 bilhões de pessoas no mundo dependem do bambu para sobrevivência e subsistência (INBAR, 2014).

No Brasil, o mercado do bambu ainda se encontra em avanço, visto que ainda não existem normas reguladoras referentes a este mercado, além da falta de recursos tecnológicos para seu uso em larga escala (PINTO et al., 2019). Na região Sudeste, a empresa Sítio da Mata Bambus trabalha produzindo mudas para o plantio, e segundo a empresa, os plantios existentes são específicos para celulose com 30.000 ha no Maranhão e menos de 400 ha destinados a outros usos como, construção, artesanato e móveis na região Centro-oeste e Sul do Brasil (COLARES et al., 2017). Apesar do mercado em desenvolvimento, o Brasil tem grande potencial de alavancar esse mercado devido à grande oferta de matéria prima natural, podendo ser empregado principalmente em setores da construção civil, substituindo ou complementando produtos como, aço, concreto e madeira (RAHMAN et al., 2017; WEI et al., 2017).

No Brasil, existem 258 espécies de bambus, aos quais estão divididos em 35 gêneros, sendo 20% do total de espécies de bambu no mundo. Destes, 165 espécies são de bambus lenhosos, onde *Chusquea*, *Merostachys* e *Guadua* são os gêneros mais ocorrentes (DRUMOND; WIEDMAN, 2017). Na região amazônica, *Guadua* spp.

domina 7 milhões de hectares, sendo o Acre detentor de 38% das florestas com ocorrência natural deste gênero (PEREIRA; BERALDO, 2007).

Apesar da rica oferta de matéria prima, alguns entraves ainda permeiam a cadeia produtiva do bambu (PINTO et al., 2019). O bambu possui baixa durabilidade, quando comparado a outras espécies madeireiras, dificultando aplicações de bambu como material de construção, encurtando sua vida útil (SUN et al., 2011). O ataque de fungos apodrecedores é o principal fator de desvalorização, a qual afeta as propriedades físicas, mecânicas e estéticas reduzindo seu valor comercial (MOHANAN, 1997).

1.2 Fungos apodrecedores

Semelhante à madeira, o bambu é um material orgânico, higroscópico e heterogêneo, susceptível a biodeterioração devido sua composição química complexa, onde a estrutura da célula vegetal é composta por celulose, hemicelulose e lignina (ROWELL, 2012).

A celulose forma a parede celular vegetal podendo chegar a 50 % do total de substâncias que compõem a célula vegetal. Trata-se de um polímero com alto grau de polimerização com regiões amorfas cristalinas com ligações do tipo β -D-glucopiranosose associadas entre si por ligações β -1,4 glicosídicas, a qual celobiose é a unidade que repete na molécula polimérica (SCHWARZE, 2007).

A lignina é um polímero aromático constituído de unidades fenilpropânicas, encontrado em 20 a 30 % do total de substâncias, estando grande parte presente na lamela média (JORDAN et al., 2012).

As hemiceluloses são polissacarídeos, que representam 20 a 25% das substâncias celulares, principalmente xilanas e mananas (JORDAN et al., 2012). A resistência da biomassa vegetal deve-se a presença da lignina, ao grau de cristalinidade da celulose, ao

grau de polimerização dos polissacarídeos, a área de superfície disponível e ao teor de umidade (SANCHEZ, 2009).

Além da constituição básica, o bambu apresenta 45 a 55% das células parenquimáticas ricas em amido, açúcar, proteína e gordura (SUN et al., 2011). Tal fato torna o bambu altamente susceptível à degradação por agentes xilófagos. Na natureza os organismos capazes de degradar essa matéria vegetal são predominantemente fungos (TOMAK, et al., 2013).

Os fungos apodrecedores, geralmente pertencem aos Filos Basidiomycota e Ascomycota causando manchas escuras e podridão do colmo (SHEVCHENKO et al., 2013). A decomposição se inicia quando esporos ou fragmentos de micélio se aderem à superfície da madeira desencadeando o processo de germinação, e fatores como umidade e temperatura são importantes para o desenvolvimento desses fungos de decomposição (ALVES; MENDES, 2002).

A podridão é classificada em três tipos: branca, parda e mole. A podridão branca é considerada das três a mais severa, causada por fungos do filo Basidiomycota (SHEVCHENKO et al., 2013). Este filo é considerado o mais diversificado compreendendo mais de 30.000 espécies, distribuídas em 1.428 gêneros. Das espécies descritas, aproximadamente 9 mil podem ser encontradas no Brasil, tendo como representantes os basidiomicetos conhecidos popularmente como cogumelos, boletos, estrelas da terra, orelhas-de-pau, ferrugens e carvões (WEBSTER; WEBER, 2007).

Fungos do Filo Basidiomycota têm a capacidade de degradar lignina, celulose e polissacarídios, a qual carboidratos e lignina são degradados simultaneamente (SHARMA et al., 2015). Assim, pode ser observada erosão progressiva da parede celular no sentido lúmen-lamela média, reduzindo a espessura e deixando a superfície da madeira de cor esbranquiçada, devido à descoloração da celulose (ABDEL-HAMID et al., 2013).

Entre as espécies fúngicas relacionadas a este tipo de podridão pode ser citado *Pleurotus ostreatus*, *Trametes versicolor*, *Ganoderma lucidum*, entre outros (ASGHER et al., 2012; MANAVALAN et al., 2013; EL-BATAL et al., 2015).

Em relação aos fungos de podridão parda, ambos degradam celulose e hemicelulose, porém, modificam parcialmente a lignina devido a desmetoxilação, a principal reação ocorrida (MANAVALAN et al., 2015). Devido à oxidação da cadeia lateral, a madeira atacada por fungos de podridão parda se mostra com uma descoloração marrom, rachaduras e encolhimento da madeira removendo quase 100% dos carboidratos da madeira (ABDEL-HAMID et al., 2013). A perda é substancialmente aumentada em estágios mais avançados de degradação, devido à liberação de metanol resultados das reações de desmetoxilação (MACHUCA; FERRAZ, 2001).

Os fungos de podridão-mole, por sua vez, são menos agressivos à madeira quando comparados aos fungos de podridão branca e parda, pois não são capazes de degradar lignina (HAMED, 2013). Porém ainda assim causam danos as propriedades madeireiras ao secretar celulasas e provocar formações de cavidades, levando ao rompimento do tecido devido a rachaduras (MARTÍNEZ et al., 2005). Também utilizam nitrogênio fixo presente na madeira para síntese de enzimas degradativas. São geralmente encontrados em ambientes secos e principalmente em locais onde fungos de podridão branca e parda não ocorrem devido a fatores externos como, temperaturas altas, baixa aeração e presença de conservantes (ABDEL-HAMID et al., 2013).

A literatura relata uma gama de gêneros fúngicos associados ao decaimento de espécies de bambu. *Dendrocalamus giganteus* é uma espécie de bambu gigante frequentemente acometida por esses fungos, sendo identificados fungos do gênero *Dokmaia*, *Arthirinium*, *Apiospora*, *Colletotrichum*, *Glomerella*, *Perisporiopsis*, *Lepiota*, *Hypholoma*, *Phaeoacremonium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces*,

Phellinus, *Acremonium*, *Ustilagoidea*, *Gliocladium*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Pestalotiopsis* entre outros (MATSUOKA, 2011). Em estudo realizado na China, 56 espécies de fungos foram identificadas em produtos de bambu de nove locais distintos, os mais dominantes foram *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* e *Botryodiplodia* (MA et al., 2009). Assim é possível inferir que há extrema necessidade em preservar os colmos de bambu, para evitar o ataque destes gêneros fúngicos.

2.2.1 Enzimas degradadoras de lignocelulose

Em geral, a decomposição é regida por enzimas oxidativas e hidrolíticas extracelulares (MANAVALAN et al., 2015). Os sistemas enzimáticos para degradação de lignina mais comum entre fungos de podridão branca são lignina peroxidase (LiP – E.C. 1.11.1.14), manganês peroxidase (MnP – E.C. 1.11.1.13), peroxidases versáteis (VP – E.C. 1.11.1.16) e lacases (E.C. 1.10.3.2) (LIU et al., 2012; PINTO et al., 2012). Todavia, esses fungos podem produzir enzimas acessórias que também entrarão no complexo enzimático, como celobiose desidrogenase (CDH), glioxal oxidase (GLO), álcool arílico oxidase (AAO), oxalato descarboxilase (ODC), desidrogenase de formiato dependente de NAD (FDH), monoxigenase P450, glutathione redutase, cobre radical oxidase, álcool isoamílico oxidase, peroxirredoxinas, benzoquinona redutase, piranose 2-oxidase, multicopper oxidase, glutathione S-transferase, glicose oxidase e superóxido dismutase de manganês (DINIS et al., 2009; ADAV et al., 2012; CHEN et al., 2012; MANAVALAN et al., 2012).

As LiPs são glicoproteínas helicoidais de estrutura globular, primeiramente relatado pelo fungo de podridão branca *Phanerochaete chrysosporium* (KIRK; FARRELL, 1987). Além da lignina, essas enzimas são capazes de degradar corantes industriais e uma grande variedade de poluentes recalcitrantes (DE OLIVEIRA et al.,

2017). A condição ótima para ação desta enzima varia no pH 2-5 e temperatura 35-55 °C (ASGHER et al., 2008).

Em relação às MnPs, são glicoproteínas extracelulares secretadas com diferentes isoformas e podendo variar seu peso molecular. Assim como as LiPs, MnPs também foram relatadas primeiramente em *P. chrysosporium* (GLENN; GOLD, 1985). As condições ótimas de funcionamento variam entre pH 4-7 e temperatura de 40-60 °C (ASGHER et al., 2008).

As VPs são classificadas como peroxidase lignolítica, possui estrutura molecular dupla a qual as enzimas LiPs e MnPs estão combinadas. Seu primeiro relato foi com *Pleurotus eryngii* (MARTINEZ et al., 1996), e é capaz de degradar compostos complexos aromáticos fenólicos e não-fenólicos (MANAVALAN et al., 2015).

As lacases são moléculas oxidases azuis multicopper N-glicosiladas extracelulares, sendo relatada pela primeira vez numa árvore chamada laca japonesa em *Toxidendron vernicifluum* (YOSHIDA, 1883). As condições ideais para lacase são pH 2-10 e temperatura 30-70 °C (MANAVALAN et al., 2013).

Em relação às celulases, existem três enzimas principais agindo de forma sinérgica no processo, sendo endo-1,4- β -glucanases (EG- E.C 3.2.1.4), exo-1,4- β -glucanases (CBH- E.C 3.2.1.91) ou celobiohidrolases e β -glicosidases (BGL- E.C 3.2.1.21) (JALAK et al., 2012). As endoglucanases (EGs) agem clivando ligações internas da celulose, as chamadas ligações β -1,4-glicosídicas, formando moléculas menores que serão degradadas pelas exoglucanases (CBHs), formando as celobioses. Em seguida serão novamente degradadas pelas β -glicosidases (BGLs) à glicose (OGEDA; PETRI, 2010). As BGLs também são capazes de degradar oligossacarídeos constituintes da hemicelulose liberando monômeros de xilose, manose e galactose (RYTIOJA et al., 2014).

Devido à ação do arcabouço enzimático provenientes de fungos de podridão, os três componentes majoritários que constituem a célula vegetal (celulose, hemicelulose e lignina) são gradualmente danificados. Assim os fungos são capazes de comprometer estruturas em madeira, causando perdas econômicas consideráveis.

2.2.2 Prejuízos por fungos apodrecedores

Os fungos apodrecedores de madeira causam grandes prejuízos, pois invadem estruturas como paredes, telhados, tetos, aos quais muitas vezes são resistentes aos fungicidas comerciais (GABRIEL; ŠVEC, 2017). No Brasil, ainda não há dados oficiais sobre as perdas de madeira ocasionadas por esses microrganismos, todavia é uma realidade que afeta desde o plantio, armazenamento até o produto final (PINTO et al., 2019). Além dos danos causados em construções, estima-se que os fungos ocasionam perdas de 15% a 25% do valor da árvore em campo e de 10 a 15% durante estocagem (KELLEY et al., 2002).

Além das perdas econômicas, a presença de fungos em materiais de construção causa inúmeros problemas de saúde devido à liberação de esporos provenientes do mofo, podendo causar reações alérgicas ao ser humano, episódios de asma e problemas de respiração (BOECHAT; RIOS, 2011).

Em relação ao bambu, mais de 10% da produção anual global de bambu é danificada por causa do ataque microbiológico (WU et al., 2019). Por ser um material rico em polissacarídeos e materiais protéicos, são mais susceptíveis ao ataque de fungos, sendo este o principal problema relacionado ao armazenamento e durabilidade de produtos de bambu (VENA et al., 2013). As perdas podem chegar até 25% durante o processo de estocagem, levando a perda de massa dos colmos, redução da estabilidade dimensional e redução de propriedades físicas e mecânicas (KIM et al., 2011).

Devido a isso, métodos de preservação da madeira são amplamente empregadas na construção civil, principalmente em moirões, estacas, postes, madeiras roliças e serradas (VIDAL et al., 2015). Este processo torna o produto final com maior valor agregado, proporcionando inúmeras vantagens de aplicações, bem como maior potencial de consumo pelo mercado. Da mesma forma, o mercado de bambu tem investido nesse ramo, devido ao aumento considerável de sua vida útil (LIESE et al., 2015).

2.3 Tratamento preservativo do bambu

A preservação dos colmos de bambu é realizada a partir de adaptações de métodos utilizados para madeira. De modo geral a preservação da madeira pode ser definida como um conjunto de procedimentos utilizados para proporcionar a madeira maior resistência e durabilidade frente aos agentes de deterioração, sejam eles de origem física, química ou biológica (DIAS; BARREIROS, 2018). Em todo mundo, há grande interesse no consumo por madeira tratada, e nos Estados Unidos da América mais de 20% de toda madeira produzida é tratada com conservantes (BARNES, 2016).

No Brasil, segundo Associação Brasileira de Preservadores da Madeira (ABPM), existem cerca de 250 usinas de preservação, que produzem 1,2 milhão/m³ de madeira tratada ao ano. Os setores de distribuição são construção civil (10%), setores elétricos e ferroviários (30%) e o restante (60%) para construções rurais (APRE, 2011). O principal produto tratado tem sido moirões, com cerca de 20 milhões de moirões tratados ao ano (GERALDO, 2019). Esse mercado tem crescido, visto que a preservação tem permitido a substituição de madeiras nativas por madeiras de rápido crescimento, que a princípio seriam menos resistentes aos biodeterioradores (VIDAL et al., 2015).

O bambu é uma das espécies de crescimento rápido que necessita de tratamento preservativo sendo primordial para aplicações. Caso não haja nenhum tipo de tratamento,

o bambu tem durabilidade de 1-3 anos se estiver em contato com o solo e descoberto, 4-6 anos em contato com o solo e local coberto e 10 a 15 anos se tiver em ótimas condições de ambientação (JANSSEN, 2000). Logo, após a colheita do bambu é primordial que haja técnicas adequadas que removam o teor de amido presente no colmo para possibilitar o aumento de sua vida útil (TIBURTINO et al., 2015).

O tipo de método de preservação escolhido pode ser influenciado por fatores como quantidade de material a ser tratada, dimensões do material, métodos utilizados, tipo de produto, finalidade e se os colmos estão verdes ou maduros (LIESE, 2004). Existem basicamente duas formas do tratamento do bambu: tradicional e química. Os métodos tradicionais são usados há milhares de anos, por serem de fácil execução e baixo custo para realização. Este método abrange várias técnicas como cozimento em forno, utilização de corantes, vernizes e tintas de origem natural, lavagem em cal, método Boucherie, imersão quente frio, tratamento a pressão, entre outros (LIESE et al., 2015).

No entanto, quando se pensa em madeira tratada em escala industrial, o principal método utilizado é a preservação química. No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) permite o uso de vários produtos químicos, como arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C), borato de cobre cromatado (CCB), ciflutrina, cipermetrina, deltametrina, fipronil, IPBC, creosoto, tanino, tribromofenol, quinolinolato de cobre-8, cardendazin, prochloraz, boratos, fluor, além dos preservativos à base de cobre e azole (IBAMA, 2017). Todavia, os preservantes mais utilizados são CCA e CCB, representando 90% dos produtos utilizados em indústrias de preservação de madeira (VIDAL et al., 2015).

Em relação ao bambu, os tratamentos químicos também têm sido utilizados. Geralmente a mistura utilizada para conservar os colmos é composta por ácido bórico e borax (CCB), formando o octaborato dissódico, a qual é solubilizada em água numa

concentração de 3 a 10%. Além desses, o cloreto de zinco e sulfato de cobre podem ser utilizados como sais simples para proteção e bambu. Entretanto, os colmos tratados não devem estar expostos a chuva ou em contato direto com o solo devido ao elevado risco de lixiviação de seus componentes (TANG; LIESE, 2011; SILVA, 2013; LIESE et al., 2015).

Apesar da eficiência dos produtos químicos, nos últimos anos tem havido interesse em introduzir modificações na tecnologia de tratamento. Em geral, esse fato deve-se a dois fatores: preocupações ambientais, no que diz respeito aos efeitos que esses produtos podem causar em organismos não-alvos, como animais e seres humanos, e a crise energética, devido esses produtos serem a base de óleo (SCHULTZ, 2014).

Segundo a norma brasileira NBR 10004:2004 (ABNT, 2004) o CCA e CCB são produtos classe toxicológica 1, considerados extremamente tóxicos, por terem em sua constituição metais pesados como arsênio e cromo. Do mesmo modo, são susceptíveis a lixiviação e volatilização dos elementos, provocando risco de contaminação ao meio ambiente, devido ao descarte de produtos ao final da vida útil. Em países como Alemanha, Japão, Indonésia, Suécia e nos Estados Unidos, existem restrições quanto ao uso desses componentes (REMADE, 2006).

Nesse contexto, a indústria tem demandado esforços em pesquisas para a busca de produtos naturais que possam reduzir o uso desses produtos no mercado, principalmente na indústria de madeira tratada (SINGH; SINGH, 2012a). Desta forma, a utilização de metabólitos microbianos é considerada uma alternativa para preservação do bambu contra fungos apodrecedores, visto serem fonte de biomoléculas ativas que proporcionam toxicidade ao organismo alvo e não produzem resíduos ambientais (GARCIA-ORTIZ et al., 2017).

Entre os microrganismos produtores de substâncias de interesse industrial e que podem ser utilizados para a preservação do bambu destacam-se fungos endofíticos. Esses fungos protegem naturalmente a planta em ambiente natural, dificultando o ataque de fungos causadores de injúrias, como fitopatógenos ou xilófagos (KUMAR; KAUSHIK, 2012). Essa proteção natural pode ser transformada em tratamento para os colmos de bambu, por meio da seleção de fungos endofíticos produtores de bioativos capazes de controlar fungos aprodrecedores (SINGH; SINGH, 2012a).

2.4 Fungos endofíticos

Fungos endofíticos habitam simbioticamente a região interna dos tecidos vegetais, sem causar danos aparentes ao hospedeiro, vivendo parte do seu ciclo de vida em associação com a planta (SONG et al., 2017). A relação pode ser considerada um equilíbrio entre virulência dos fungos e defesa da planta hospedeira (CHANDRA, 2012). Os fungos se beneficiam do abrigo e nutrientes fornecidos pela planta, enquanto as plantas se beneficiam pelas substâncias ativas produzidas pelos endófitos, que atuam diretamente no crescimento, sobrevivência, e competitividade do hospedeiro (LI et al., 2018).

As substâncias produzidas são conhecidas como metabólitos secundários, produtos da relação endófito/planta e atuam principalmente na resistência contra pragas, herbívoros e fitopatógenos do hospedeiro, sendo considerada uma rica fonte de moléculas para produção de biopesticidas (KUMAR; KAUSHIK, 2012). Podem ser constituídos por alcalóides, terpenóides, esteróides, quinonas, isocumarinas, lignanas, fenóis entre outros (YU et al., 2010). Em relação à proteção contra o ataque de fungos, a literatura relata vários metabólitos de fungos endofíticos com atividade antifúngica (Quadro 1).

Quadro 1. Metabólitos secundários de fungos endofíticos com atividade antifúngica.

Planta	Endófito	Substância	Referência
<i>Tripterygium wilfordii</i> Hook. f.	<i>Cryptosporiopsis</i> cf. <i>quercine</i>	Criptocina	Strobel et al. (1999)
<i>Artemisia annua</i> L.	<i>Colletotrichum</i> sp.	6-isoprenilindole-3-ácido carboxílico	Lu et al. (2000)
<i>Cryptocarya mandioccana</i> Meisn.	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	cis-4-hidroxi-6-deoxiscitalona; 4,8-di-hidroxi-a-tetralona	Inácio et al. (2006)
<i>Gossypium hirsutum</i> L.	<i>Phomopsis</i> sp.	Epoxicitochalcina H; Citocalasina N; Citocalasina H	Fu et al. (2011)
<i>Ginkgo biloba</i> L.	<i>Chaetomium globosum</i>	ChaetomugilinaD, Chaetomugilina A, Chaetoglobosinas A	Qin et al. (2009)
<i>Lycium intricatum</i> Boiss.	<i>Microdiplodia</i> sp.	1,4-oxazapan-7-one	Siddiqui et al. (2011)
<i>Crocus sativus</i> L.	<i>Penicillium vinaceum</i>	(-) - (1R , 4R) -1,4- (2,3)-indolmetano-1-metil-2,4- di-hidro- 1H-pirazino- [2,1- b] -quinazolina-3,6-diona	Zheng et al. (2012)
<i>Panax notoginseng</i> (Burk.) F.H. Chen	<i>Emericella</i> sp.	furan-2-ol; furan-2-carbonato	Wu et al. (2017)
<i>Cassia alata</i> L.	<i>Fusarium solani</i>	Naftaquinonas; aza-antraquinonas	Khan et al. (2018)

Os metabólitos de fungos endofíticos podem ser alternativa chave na proteção biológica dentro da indústria de preservativos de madeira. Porém, ainda há poucos estudos na literatura, sendo encontrado somente um trabalho referente a este tema. Nesse estudo, metabólitos do fungo endofítico *Phaeothea dimorphospora*, originalmente isolado de ulmeiro, foi utilizado para o tratamento de painéis OSB, onde foi possível observar a inibição do crescimento micelial de todos os fungos apodrecedores testados, incluindo os de podridão branca e parda (YANG et al., 2007).

Em relação ao bambu, ainda não há relatos na literatura utilizando extratos provenientes de seus fungos endofíticos para preservação do colmo. Todavia, existem estudos à cerca da diversidade endofítica fúngica em bambus do gênero *Phyllostachys* sp. e *Sasa* sp. (MORAKOTKARN et al., 2007), e das espécies *Phyllostachys edulis* (SHEN et al., 2014) e *Phyllostachys heteroclada* (ZHOU et al., 2017).

Diante do exposto, espera-se que substâncias produzidas por fungos endofíticos possam vir a ser uma solução para o uso de conservantes químicos em madeiras, onde poderão reduzir os impactos ao meio ambiente proveniente dessa indústria. Além disso, o uso de uma nova tecnologia de tratamento poderia contribuir para o crescimento do mercado do bambu no Brasil, por ser uma alternativa promissora para o tratamento do colmo contra fungos apodrecedores, que é o principal problema relacionado à durabilidade desta matéria prima.

2. REFERÊNCIAS

- ABDEL-HAMID, A. M.; SOLBIATI, J. O.; CANN, I. K.O. Insights into lignin degradation and its potential industrial applications. In: LASKIN, A. I.; BENNETT, J. W.; GADD, G. M. **Advances in Applied Microbiology**. Cambridge: Academic Press, 2013. 1-28 p.
- ADAV, S. S.; RAVINDRAN, A.; CHEOW, E. S. H.; SZE, S. K. Quantitative proteomic analysis of secretome of microbial consortium during saw dust utilization. **Journal of Proteomics**, v. 75, n. 18, p. 5590-5603, 2012.
- ALVES, M. V. S.; MENDES, A. S. **Biodegradação e preservação da madeira**. Brasília: LPF, 2002. 41 p.
- ASGHER, M.; BHATTI, H. N.; ASHRAF, M.; LEGGE, R. L. Recent developments in biodegradation of industrial pollutants by white rot fungi and their enzyme system. **Biodegradation**, v.19, n. 6, p. 771, 2008.
- ASGHER, M.; IQBAL, H. M. N.; IRSHAD, M. Characterization of purified and xerogel immobilized novel lignin peroxidase produced from *Trametes versicolor* IBL-04 using solid state medium of corncobs. **BMC Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 46, 2012.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, p.77. 2004
- APRE - ASSOCIAÇÃO PARANAENSE DE EMPRESAS DE BASE FLORESTAL. *O uso da madeira tratada na construção civil*. Disponível em: <<http://www.apreflorestas.com.br/noticias/construcao-civil/132/o-uso-da-madeiratratada-na-construcao-civil>>. Acesso em: 10 setembro 2019.
- AGOPYAN, V. Construção Civil consome até 75% da matéria-prima do planeta. Disponível:<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html>>Acesso em 06 de junho de 2019.
- BARNES, H. M. **Wood: Preservative treated**. Mississippi: Elsevier, 2016, 1-7 p.
- BOECHAT, J. L.; RIOS, J. L. Poluição de ambientes internos. **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia**, v. 34, n. 3, p. 83-89, 2011.
- CHANDRA, S. Endophytic fungi: novel sources of anticancer lead molecules. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 95, n. 1, p. 47-59, 2012
- CHEN, S.; XU, J.; LIU, C.; ZHU, Y.; NELSON, D. R.; ZHOU, S.; LUO, H. Genome sequence of the model medicinal mushroom *Ganoderma lucidum*. **Nature Communications**, v. 3, p. 913, 2012.
- COLARES, D. S.; OLIVEIRA, D. G.; ALMEIDA JÚNIOR, P. P. PULZ, F. A. Produção de matéria seca de bambu irrigado e estimativa de rentabilidade bruta em três espaçamentos de plantio. In: 10ª JICE - JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E EXTENSÃO, Tocantins: IFTO, 2017 p. 1-7.

D'ANNUNZIO, R.; SANDKER, M.; FINEGOLD, Y.; MIN, Z. Projecting global forest area towards 2030. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 124-133, 2015.

DE OLIVEIRA, J. M.; MORANDIM-GIANETTI, A. A.; LUCARINI, A. C. Estudo do uso da lignina-peroxidase para remoção de 2-clorofenol em efluente líquido. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 3, n. 2, p. 144-157, 2017.

DIAS, K. B.; BARREIROS, R. M. Potentiality of Tall Oil as Preservative for Wood. **Trees**, v. 5, p. 8, 2018.

DINIS, M. J.; BEZERRA, R. M.; NUNES, F.; DIAS, A. A.; GUEDES, C. V.; FERREIRA, L. M.; CONE, J. W.; MARQUES, G. S. M.; BARROS, A. R. N.; RODRIGUES, M. A. Modification of wheat straw lignin by solid state fermentation with white-rot fungi. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 20, p. 4829-4835, 2009.

DINIZ, F. V.; PETERS, L. P.; LOBÃO, M. S.; CARVALHO, C. M. Aplicações de bambu na construção civil: Revisão sistemática. In: CARVALHO, C. M.; FURTADO, C. M.; PROLO JÚNIOR, S. L.; ZAN, R. A. **Ciência Inovação e Tecnologia na Amazônia 2**. Rio Branco: Strictu Sensus, 2019, 221-239 p.

DRUMOND, P. M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: Embrapa Acre-Livro técnico (INFOTECA-E), 2017, 655 p.

EL-BATAL, A. I.; ELKENAWY, N. M.; YASSIN, A. S.; AMIN, M. A. Laccase production by *Pleurotus ostreatus* and its application in synthesis of gold nanoparticles. **Biotechnology Reports**, v. 5, p. 31-39, 2015.

FEI, P.; XIONG, H.; CAI, J.; LIU, C.; YU, Y. Enhanced the weatherability of bamboo fiber-based outdoor building decoration materials by rutile nano-TiO₂. **Construction and Building Materials**, v. 114, p. 307-316, 2016.

FELIX, E.F.; POSSAN, E. Balance emissions and CO₂ uptake in concrete structures: simulation based on the cement content and type. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 1, p. 135-162, 2018.

FU, J.; ZHOU, Y.; LI, H. F.; YE, Y. H.; GUO, J. H. Antifungal metabolites from *Phomopsis* sp. By254, an endophytic fungus in *Gossypium hirsutum*. **African Journal of Microbiology Research**, v. 5, n. 10, p. 1231-1236, 2011.

GABRIEL, J.; ŠVEC, K. Occurrence of indoor wood decay basidiomycetes in Europe. **Fungal Biology Reviews**, v. 31, n. 4, p. 212-217, 2017.

GARCÍA-ORTIZ, V. R.; BENÍTEZ-ROCHA, G. Wood preservatives and microbial exudates with antagonistic activity against biological agents. **Revista Mexicana de Fitopatología**. v. 36, n.1, p. 56-78, 2017.

GERALDO, Flávio C. *Setor rural aponta maior procura por madeira tratada*. Disponível em:

<<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=24014&secao=Artigos%20Especiais>> Acesso em: 09 setembro 2019.

GLENN, J. K.; GOLD, M. H. Purification and characterization of an extracellular Mn (II)-dependent peroxidase from the lignin-degrading basidiomycete, *Phanerochaete chrysosporium*. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 242, n. 2, p. 329-341, 1985.

GRATANI, L.; CRESCENTE, M. F.; VARONE, L.; FABRINI, G.; DIGIULIO, E. Growth pattern and photosynthetic activity of different bamboo species growing in the Botanical Garden of Rome. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 203, n. 1, p. 77-84, 2008.

HAMED, S. A. M. In-vitro studies on wood degradation in soil by soft-rot fungi: *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 78, p. 98-102, 2013.

IBÁ -INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. *Da garantia de suprimento de matéria-prima para todos os usos da madeira – atuais de potenciais – a uma nova economia de baixo carbono, a solução passa pelas florestas plantadas*. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2016.pdf>> Acesso em 09 setembro 2019.

IBÁ -INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. *O setor brasileiro de árvores plantadas*. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>>. Acesso em: 09 setembro 2019.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Produtos preservativos de madeiras registrados no Ibama*. Disponível em: <<file:///C:/Users/Fernanda/Documents/Backup%20Fernanda/MESTRADO-CITA/Projeto%20Bambu/Artigos/IBAMA%202017.pdf>> Acesso em: 10 setembro 2019.

INÁCIO, M. L.; SILVA, G. H.; TELES, H. L.; TREVISAN, H. C.; CAVALHEIRO, A. J.; BOLZANI, V. D. S.; YANG, M. C. M.; ARAÚJO, Â. R.; PFENNING, L. H. Antifungal metabolites from *Colletotrichum gloeosporioides*, an endophytic fungus in *Cryptocarya mandiocana* Nees (Lauraceae). **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 11, n. 34, p. 822-824, 2006.

INBAR - INTERNATIONAL NETWORK FOR BAMBOO AND RATTAN. *Bamboo to tackle climate change*. Disponível em: <<http://www.inbar.int/2014/12/inbar-releases-policy-report-onbamboo-to-tackle-climate-change/>>. Acesso 09 setembro 2019.

ITTO - The International Tropical Timber Organization. *ITTO annual report 2014*. Disponível em: <[file:///C:/Users/Fernanda/Downloads/ITTO_annual_report_2014_\[en\].pdf](file:///C:/Users/Fernanda/Downloads/ITTO_annual_report_2014_[en].pdf)> Acesso em 09 setembro 2019

JALAK, J.; KURAŠIN, M.; TEUGJAS, H.; VÄLJAMÄE, P. Endo-exo synergism in cellulose hydrolysis revisited. **Journal of Biological Chemistry**, v. 287, n. 34, p. 28802-28815, 2012.

JANSSEN, J. J. A. **Designing and building with bamboo**. Netherlands: International Network for Bamboo and Rattan, 2000, 211p.

JORDAN, D. B.; BOWMAN, M. J.; BRAKER, J. D.; DIEN, B. S.; HECTOR, R. E.; LEE, C. C.; MERTENS, J. A.; WAGSCHAL, K. Plant cell walls to ethanol. **Biochemical Journal**, v. 442, n. 2, p. 241-252, 2012

KAUR, P.J.; PANT, K.K.; SATYA, S.; NAIK, S. N. Bamboo: the material of future. **International Journal Series in Multidisciplinary**, v. 2, n. 2, p. 27-34, 2016.

KELLEY, S. S.; JELLISON, J.; GOODELL, B. Use of NIR and pyrolysis-MBMS coupled with multivariate analysis for detecting the chemical changes associated with brown-rot biodegradation of spruce wood. **FEMS Microbiology Letters**, v. 209, n. 1, p. 107-111, 2002.

KHAN, N., AFROZ, F., BEGUM, M. N., RONY, S. R., SHARMIN, S., MONI, F.; HASAN, C. M.; SHAHA, K.; SOHRAB, M. H. Endophytic *Fusarium solani*: A rich source of cytotoxic and antimicrobial naphthaquinone and aza-anthraquinone derivatives. **Toxicology Reports**, v. 5, p. 970-976, 2018.

KIM, J. J.; LEE, S. S.; RA, J. B.; LEE, H.; HUH, N.; KIM, G. H. Fungi associated with bamboo and their decay capabilities. **Holzforschung**, v. 65, n. 2, p. 271-275, 2011.

KIRK, T. K.; FARRELL, R. L. Enzymatic "combustion": the microbial degradation of lignin. **Annual Reviews in Microbiology**, v. 41, n. 1, p. 465-501, 1987.

KUMAR, S.; KAUSHIK, N. Metabolites of endophytic fungi as novel source of biofungicide: a review. **Phytochemistry Reviews**, v. 11, n. 4, p. 507-522, 2012.

LI, S. J.; ZHANG, X.; WANG, X. H.; ZHAO, C. Q. Novel natural compounds from endophytic fungi with anticancer activity. **European Journal of Medicinal Chemistry**, v. 156, p. 316-343, 2018.

LIESE, W.; WELLING, J.; TANG, T.K.H. Utilization of bamboo. In: LIESE, W.; WELLING, J.; TANG, T.K.H. **Bamboo**. New York: Springer Cham, 2015, 299-346 p.

LIU, D.; SONG, J.; ANDERSON, D.P., CHANG, P.R.; HUA, Y. Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. **Cellulose**, v. 19, n. 5, p. 1449-1480, 2012.

LOU, Y.; LI, Y., BUCKINGHAM, K.; HENLEY, G.; ZHOU, G. **Bamboo and climate change mitigation**. Beijing: Technical Report-International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 2010.47 p.

LU, H.; ZOU, W. X.; MENG, J. C.; HU, J.; TAN, R. X. New bioactive metabolites produced by *Colletotrichum* sp., an endophytic fungus in *Artemisia annua*. **Plant Science**, v. 151, n. 1, p. 67-73, 2000.

MA, X.; JIANG, M.; LU, W.; QIN, D. Study on the biological characteristics of stain fungi and mould fungi on bamboo wood. **Forest Research**, v. 22, n. 6, p. 819-823, 2009.

MACHUCA, A.; FERRAZ, A. Hydrolytic and oxidative enzymes produced by white- and brown-rot fungi during *Eucalyptus grandis* decay in solid medium. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 29, n. 6-7, p. 386-391, 2001.

MANAVALAN, T., MANAVALAN, A., THANGAVELU, K. P., HEESE, K. Secretome analysis of *Ganoderma lucidum* cultivated in sugarcane bagasse. **Journal of Proteomics**, 77, 298-309, 2012.

MANAVALAN, T.; MANAVALAN, A.; THANGAVELU, K. P.; HEESE, K. Characterization of optimized production, purification and application of laccase from *Ganoderma lucidum*. **Biochemical Engineering Journal**, v. 70, p. 106-114, 2013.

MANAVALAN, T.; MANAVALAN, A.; HEESE, K. Characterization of lignocellulolytic enzymes from white-rot fungi. **Current Microbiology**, v. 70, n. 4, p. 485-498, 2015.

MARTÍNEZ, Á. T.; SPERANZA, M.; RUIZ-DUEÑAS, F. J.; FERREIRA, P.; CAMARERO, S.; GUILLÉN, F.; MARTÍNEZ, M. J.; GUTIÉRREZ, A.; RÍO, J. C. D. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **International Microbiology**, v.8, p. 195-204, 2005.

MARTINEZ, M. J.; BÖCKLE, B.; CAMARERO, S.; GUILLÉN, F.; MARTINEZ, A. T. MnP isoenzymes produced by two *Pleurotus* species in liquid culture and during wheat-straw solid-state fermentation. In: JEFFRIES, T. W.; VIKARI, L. **Enzymes for Pulp and Paper Processing**. Washington: American Chemical Society, 1996, 24-28 p.

MCI - MILLENNIUM INVESTMENT INITIATIVE. *Investment opportunity in Kumasi, Ghana. Bamboo cultivation and processing*. Disponível em: <<http://mci.ei.columbia.edu/files/2013/10/KumasiBamboo-Cultivation-and-Processing.pdf>> Acesso em: 09 setembro 2019.

MOHANAN, C. **Diseases of bamboos in Asia: an illustrated manual**. New Delhi: International Network for Bamboo and Rattan, 1997, 219 p.

MORAKOTKARN, D; KAWASAKI, H.; SEKI, T. Molecular diversity of bamboo-associated fungi isolated from Japan. **FEMS Microbiology Letters**, v. 266, n. 1, p. 10-19, 2007.

OGEDA, T.L.; PETRI, D.F.S. Hidrólise enzimática de biomassa. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1549-1558, 2010.

PEREIRA, M.A. R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. São Paulo: Canal 6 editora, 2007, 352 p.

PINTO, J. L. G.; ROCHA, P. F.; BASTOS, C. C. D. D. Construções com bambu. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, v. 1, n. 1, p. 1-32, 2019.

PINTO, P. A., DIAS, A. A., FRAGA, I., MARQUES, G., RODRIGUES, M. A., COLAÇO, J., SAMPAIO, A. BEZERRA, R. M. Influence of ligninolytic enzymes on straw saccharification during fungal pretreatment. **Bioresource Technology**, v. 111, p. 261-267, 2012.

QIN, J. C.; ZHANG, Y. M.; GAO, J. M.; BAI, M. S.; YANG, S. X.; LAATSCH, H.; ZHANG, A. L. Bioactive metabolites produced by *Chaetomium globosum*, an endophytic fungus isolated from *Ginkgo biloba*. **Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters**, v. 19, n. 6, p. 1572-1574, 2009.

RAHMAN, N.; SHING, L. W.; SIMON, L.; PHILIPP, M.; ALIREZA, J.; LING, C. S.; WUAN, L. H.; VALAVAN, S.; NEE, S. S. Enhanced bamboo composite with protective coating for structural concrete application. **Energy Procedia**, v.143, p.167-172, 2017.

REMADE – REVISTA DA MADEIRA. *Madeira preservada – os impactos ambientais*. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=985&subject=Preserva%E7%E3o&title=Madeira%20preservada%20%96%20Os%20impactos%20ambientais> Acesso 11 setembro 2019

ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Flórida: CRC press, 2012, 703 p.

RYTIOJA, J.; HILDÉN, K.; YUZON, J.; HATAKKA, A.; DE VRIES, R. P.; MÄKELÄ, M. R. Planta-Polysaccharide-Degrading Enzymes from Basidiomycetes. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 78, n. 4, p. 614-649, 2014.

SÁNCHEZ, C. Lignocellulosic residues: biodegradation and bioconversion by fungi. **Biotechnology Advances**, v. 27, n. 2, p. 185-194, 2009.

SCHULTZ, T. P.; NICHOLAS, D. D.; PRESTON, A. F. Wood protection trends in North America. In: SCHULTZ, T. P.; GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D. **Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterials**. Washington: American Chemical Society, 2014, 351-361 p.

SCHWARZE, F. W. M. R. Wood decay under the microscope. **Fungal Biology Reviews**, v. 21, n. 4, p. 133-170, 2007.

SHARMA, B.; GATÓO, A.; BOCK, M.; RAMAGE, M. Engineered bamboo for structural applications. **Construction and Building Materials**, v. 81, p. 66-73, 2015

SHEN, X. Y.; CHENG, Y. L.; CAI, C. J.; FAN, L., GAO, J.; HOU, C. L. Diversity and antimicrobial activity of culturable endophytic fungi isolated from moso bamboo seeds. **PloS one**, v. 9, n. 4, p. 95838, 2014.

SHEVCHENKO, E. A.; BESSOLITSYNA, E. A.; DARMOV, I. V. Identification of genes encoding ligninolytic enzymes in naturally occurring basidiomycete isolates. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 49, n. 3, p. 280-286, 2013.

SIDDIQUI, I. N.; ZAHOR, A.; HUSSAIN, H., AHMED, I., AHMAD, V. U., PADULA, D.; DRAEGER, S.; SCHULZ, B.; MEIER, K.; STEINERT, M.; KURTÁN, T.; FLÖRKE, U.; PESCIPELLI, G.; KROHN, K. Diversonol and blennolide derivatives from the endophytic fungus *Microdiplodia* sp. absolute configuration of diversonol. **Journal of Natural Products**, v. 74, n. 3, p. 365-373, 2011.

SINGH, T.; SINGH, A. P. A review on natural products as wood protectant. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 5, p. 851-870, 2012a.

SONG, H. C.; QIN, D.; HAN, M. J.; WANG, L.; ZHANG, K.; DONG, J. Y. Bioactive 2-pyrone metabolites from an endophytic *Phomopsis asparagi* SWUKJ5. 2020 of *Kadsura angustifolia*. **Phytochemistry Letters**, v. 22, p. 235-240, 2017.

STROBEL, G. A.; MILLER, R. V.; MARTINEZ-MILLER, C.; CONDRON, M. M.; TEPLow, D. B.; HESS, W. M. Cryptocandin, a potent antimycotic from the endophytic fungus *Cryptosporiopsis cf. quercina*. **Microbiology**, v. 145, n. 8, p. 1919-1926, 1999.

SUN, F.; ZHOU, Y.; BAO, B.; CHEN, A.; DU, C. Influence of solvent treatment on mould resistance of bamboo. **BioResources**, v. 6, n. 2, p. 2091-2100, 2011.

TANG, T. K. H.; LIESE, W. Pressure treatment of bamboo culms of three Vietnamese species by boron and CCB preservatives. **Journal of Bamboo and Rattan**, v. 10, n. 12, p. 63-76, 2011.

TIBURTINO, R. F.; PAES, J. B.; BERALDO, A. L.; ARANTES, M. D. C.; BROCCO, V. F. Tratamento preservativo de duas espécies de bambu por imersão prolongada e bocherie modificado. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 124-133, 2015.

TOMAK, E.D; TOPALOGLU, E.; GUMUSKAYA, E.; YILDIZ, U.C.; AY, N. An FT-IR study of the changes in chemical composition of bamboo degraded by brown-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 131-138, 2013.

VENA, P. F.; BRIENZO, M.; DEL PRADO G. A. M.; GÖRGENS, J. F.; RYPSTRA, T. Hemicelluloses extraction from giant bamboo (*Bambusa balcooa* Roxburgh) prior to kraft or soda-AQ pulping and its effect on pulp physical properties. **Holzforschung**, v. 67, n. 8, p. 863-870, 2013.

VIDAL, J. M.; EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. D. C.; JANKOWSKY, I. P. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 257-271, 2015.

WEBSTER, J.; WEBER, R. W. S. **Introduction to Fungi**. New York: Cambridge University Press, 2007, 875 p.

WEI, Y.; JI, X.; DUAN, M.; LI, G. Flexural performance of bamboo scrimber beams strengthened with fiber-reinforced polymer. **Construction and Building Materials**, v. 142, p. 66-82, 2017.

WU, X., PANG, X. J., XU, L. L., ZHAO, T., LONG, X. Y., ZHANG, Q. Y., QIN, H.; YANG, D.; YANG, X. L. Two new alkylated furan derivatives with antifungal and antibacterial activities from the plant endophytic fungus *Emericella* sp. XL029. **Natural Product Research**, v. 32, n. 22, p. 2625-2631, 2018.

WU, X.; FANG, L. Z.; LIU, F. L.; PANG, X. J.; QIN, H. L.; ZHAO, T.; XU, L. L.; YANG, D. F.; YANG, X. L. New prenylxanthenes, polyketide hemiterpenoid pigments from the endophytic fungus *Emericella* sp. XL029 and their anti-agricultural pathogenic fungal and antibacterial activities. **RSC Advances**, v. 7, n. 49, p. 31115-31122, 2017.

WU, Z.; HUANG, D.; WEI, W.; WANG, W.; WANG, X. A.; WEI, Q.; NIU, M.; LIN, M.; RAO, J.; XIE, Y. Mesoporous aluminosilicate improves mildew resistance of bamboo scrimber with CuBP anti-mildew agents. **Journal of Cleaner Production**, v. 209, p. 273-282, 2019.

YANG, D. Q.; WAN, H.; WANG, X. M.; LIU, Z. M. Use of fungal metabolites to protect wood-based panels against mould infection. **BioControl**, v. 52, n. 3, p. 427-436, 2007.

YOSHIDA, H. Chemistry of lacquer (Urushi). Part I. communication from the chemical society of Tokio. **Journal of the Chemical Society Transactions**, v. 43, p. 472-486, 1883.

YU, H.; ZHANG, L.; LI, L.; ZHENG, C.; GUO, L.; LI, W.; SUN, P. QIN, L. Recent developments and future prospects of antimicrobial metabolites produced by endophytes. **Microbiological Research**, v. 165, n. 6, p. 437-449, 2010.

ZHENG, C. J.; LI, L.; ZOU, J. P.; HAN, T.; QIN, L. P. Identification of a quinazoline alkaloid produced by *Penicillium vinaceum*, an endophytic fungus from *Crocus sativus*. **Pharmaceutical Biology**, v. 50, n. 2, p. 129-133, 2012.

ZHOU, Y. K.; SHEN, X. Y.; HOU, C. L. Diversity and antimicrobial activity of culturable fungi from fishscale bamboo (*Phyllostachys heteroclada*) in China. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 6, p. 104, 2017.

4. OBJETIVOS

Geral

Selecionar fungos endofíticos de *Guadua* spp. com potencial para o tratamento preservativo de bambu para fins de Construção Civil.

Específicos

1. Identificar espécies de bambu utilizadas na Construção Civil.
2. Identificar fungos apodrecedores de *Guadua* spp.
3. Avaliar atividade celulolítica e lignolítica de fungos apodrecedores de *Guadua* spp.;
4. Identificar fungos endofíticos de *Guadua* spp.;
5. Selecionar fungos endofíticos controladores de fungos apodrecedores de *Guadua* spp.;
6. Determinar concentração inibitória mínima (CIM) de extratos de fungos endofíticos frente aos fungos apodrecedores.

CAPÍTULO I

Aplicações de bambu na construção civil: Revisão sistemática
Publicado no Livro Ciência, Inovação e Tecnologia na Amazônia 2



APLICAÇÕES DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL: REVISÃO SISTEMÁTICA

**Fernanda Viana Diniz¹, Leila Priscila Peters¹, Moisés Silveira Lobão²,
Clarice Maia Carvalho¹**

1. Universidade Federal do Acre (UFAC), Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Rio Branco, Acre, Brasil;
2. Universidade Federal do Acre (UFAC), Bacharelado em Engenharia Florestal, Rio Branco, Acre, Brasil.

RESUMO

O bambu é um material sustentável promissor a ser integrado em várias áreas da indústria da construção civil, podendo ser utilizado para o reforço ou substituição de materiais poluentes comumente utilizados. As características físico-mecânicas variáveis do bambu têm demonstrado diferentes aptidões para serem empregadas na construção civil. Assim, o estudo teve como objetivo realizar uma revisão sistemática de trabalhos publicados entre 2009-2019 com aplicações de bambu em quatro áreas da construção civil: Estruturas, Materiais de Construção, Hidráulica e Pavimentação. Para tanto, utilizou-se quatro bases para busca de artigos, sendo Science Direct, Scielo, Springer e Google Acadêmico. Foram utilizados os seguintes descritores: bamboo in civil construction, bamboo structures, fibers, sustainable materials e biocomposites. Os critérios de exclusão foram artigos que não citavam a espécie, aplicações em áreas distintas e estudos biológicos. O programa Excel foi utilizado para análise das informações obtidas e 30 artigos foram incluídos nesta revisão. No total 21 espécies foram identificadas entre os trabalhos, sendo os gêneros encontrados: *Bambusa*, *Guadua*, *Phyllostachys*, *Dendrocalamus*, *Gingantocloa*, *Neosinocalamus* e *Melocanna*. Entre as espécies mais utilizadas se destacaram *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens* encontrada com frequência de 13,9% cada uma. 61% dos estudos foram voltados para a reforço de materiais de construção, 27,8% para estruturas e apenas 11,2% para hidráulica. Para Pavimentação, nenhum estudo foi identificado. Produção de painéis a partir de fibras de bambu foram mais abordados. Assim, as duas espécies com maior aplicação na construção civil são *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens*, sendo o principal uso para a produção de materiais de construção.

Palavras chaves: Materiais sustentáveis, *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens*.

ABSTRACT

Bamboo is a promising material sustainable for the various areas of the construction industry and can be used for reinforcement or replacement of commonly used pollutants. The variable physical-mechanical characteristics of bamboo are demonstrated in the skills for the same ones employed in construction. The study aimed to carry out a systematic review of works between 2009-2019 with bamboo applications in four areas of construction:

Structures, Construction Materials, Hydraulics and Paving. For this, four bases were used to search for articles, being Science Direct, Scielo, Springer and Google Scholar. The following descriptors were used: bamboo in construction, bamboo structures, fibers, sustainable materials and biocomposites. Exclusion criteria were those that were not cited, but were applied in distinct areas and biological studies. The Excel program was used to analyze the survey information and 30 maps were followed up in this review. In total, two types of works were found: *Bambusa*, *Guadua*, *Phyllostachys*, *Dendrocalamus*, *Gingantocloa*, *Neosinocalamus*, and *Melocanna*. Among the most used species were: *Guadua angustifolia* and *Phyllostachys pubescens* found a frequency of 13.9% each. 61% of the studies were voltage for building materials construction, 27.8% for structures and only 11.2% for hydraulics. For Paving, none study was identified. Production of wood fiber panels were more addressed. Thus, as two species with greater application in the civil construction are *Guadua angustifolia* and *Phyllostachys pubescens*, being the main use for the production of building materials.

Keywords: Sustainable materials, *Guadua angustifolia* and *Phyllostachys pubescens*

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico e social de um país. A contribuição para economia varia de 8 a 10%, sendo responsável principalmente pela oferta de empregos e por alavancar o crescimento de outras indústrias que se inter-relacionam a essa atividade (DIXIT et al., 2017). Estima-se que o mercado global da construção cresça 3,6% ao ano entre 2019 e 2022. Em termos de valores deverá subir para US \$ 12,9 trilhões até 2022, acima dos US \$ 10,8 trilhões em 2017. Tal crescimento é impulsionado principalmente pela Ásia-Pacífico, África e Oriente Médio (GLOBAL DATA, 2018).

Aliado ao crescente desenvolvimento deste mercado, aumenta-se a produção de resíduos que conseqüentemente promove impactos ambientais (ESCAMILLA; HABERT, 2014). Um dos mais importantes é a emissão de CO₂ ocasionado pela produção de cimento, a qual é responsável por cerca de 5% das emissões no mundo (FELIX; POSSAN, 2018). Os impactos ambientais que envolvem a fabricação do cimento se iniciam desde a extração de minérios, causando alterações na paisagem, passando por emissões de gases de efeito estufa pela fase de clínquerização, processo que leva a queima da matéria-prima como: calcário, argila, óxidos de ferro e alumínio (MAURY; BLUMENSCHHEIN, 2012). Além disso, estima-se que para cada pessoa, são produzidos 500 quilos de entulhos, totalizando 3,5 milhões de toneladas/ano (AGOPYAN, 2013).

Nos últimos anos a construção civil têm tido o desafio de conduzir suas atividades com base na sustentabilidade (XU et al., 2017). Há uma intensa busca por insumos não

poluentes, que possam ser inseridos no processo de fabricação dos materiais de construção, reduzindo o gasto de energia investido na produção e também melhorando suas propriedades físicas e mecânicas (MARTÍNEZ; KHARISSOVA; KHARISOV, 2018). Nesse contexto, as fibras vegetais têm despertado interesse da indústria, sendo consideradas promissoras substitutas aos materiais prejudiciais à saúde, como cimento, assim como pelo desenvolvimento de materiais reforçados (FAN; FU, 2016). Materiais reforçados com fibras possuem inúmeras vantagens, como: baixa massa específica, isolamento térmico e acústico, biodegradabilidade, aspectos estéticos, baixo custo e principalmente por ser um material não tóxico ao ambiente (MARTÍNEZ; KHARISSOVA; KHARISOV, 2018).

Entre as fibras vegetais utilizadas no mercado destaca-se o bambu. Em todo mundo há crescente interesse em produtos de bambu, por ser um recurso com propriedades físico-mecânicas de relevância para a construção civil (ATANDA, 2015). A estrutura anatômica do bambu é composta por colmos formados por nós e entrenós, composta por fibras celulósicas unidirecionadas no eixo longitudinal inserido na matriz de lignina (FEI et al., 2016). O volume da fibra aumenta com a altura, fornecendo força e rigidez à planta (RIBEIRO et al., 2016).

Estudos com o bambu comprovam ótimas propriedades físico-mecânicas, como alta resistência à compressão e à tração (MOTA et al., 2017). Características essas que se apresentam melhores do que muitos materiais de construção, como algumas espécies madeiras, concreto, tijolo, além de sua resistência à tração comparável à do aço (AWOYERA; UGWU, 2016). Também, possui valores satisfatórios quanto à densidade e estabilidade dimensional (PEREIRA; BERALDO, 2007). Devido a isso, há uma infinidade de aplicações do bambu na construção civil voltada para reforço do concreto, construção de pontes, coberturas, andaimes, fabricação de laminados e biocompósitos (XIAO; ZHOU; SHAN, 2009; RAHMAN et al., 2017; WEI et al., 2017).

Além disso, o bambu é uma espécie florestal com a maior taxa de crescimento em comparação com espécies madeiras convencionais. A planta pode atingir 30 metros de altura num período de 3 a 6 meses, portanto com ciclo de vida curto, acelerando seu consumo na cadeia produtiva (LOU et al., 2010). Outra vantagem interessante é a capacidade de rebrota de espécies de bambu devido à parte subterrânea do caule, o que denota que a retirada dos colmos em florestas nativas ou plantada não significam a morte da planta, fato que se diferencia em relação às outras espécies madeiras (OSTAPIV;

SALAMON; GONÇALVES, 2008). Assim, o bambu é uma planta promissora para a redução da pressão sobre espécies florestais.

Sabe-se que atualmente existem mais de 1200 espécies de bambu descritas na literatura, todavia há variações nas propriedades físicas e mecânicas entre as espécies, sendo algumas mais propensas às aplicações estruturais que demandam maior resistência e rigidez, e outras com características inferiores que podem compor materiais compósitos (MAHDAVI; CLOUSTON; ARWADE, 2010).

Sabendo-se da infinidade de aplicações e com aptidões diferenciadas entre as espécies de bambu, esta revisão teve como objetivo reunir trabalhos dos últimos 10 anos com aplicações de bambu em quatro grandes áreas da construção civil: Estruturas, Materiais de Construção, Hidráulica e Pavimentação, destacando-se à espécie utilizada, aplicação e teste experimental.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma revisão sistemática sobre as principais aplicações do bambu na construção civil, a qual foi redigida com base nas diretrizes propostas no guia Preferred Reporting Intems for Systematic Reviews and MetaAnalyses (PRISMA) (MOHER et al., 2015; SHAMSEER et al., 2015).

A busca pelos artigos se deu em quatro bases distintas: Science Direct, Scientific Eletronic Library Online (Scielo), Springer e Google Acadêmico, os quais foram identificados pelos seguintes descritores: bamboo in civil construction, bamboo structures, fibers, sustainable materials e biocomposites. Artigos publicados em inglês, espanhol e português entre os anos de 2009 a 2019 foram utilizados nesta revisão.

Os critérios de inclusão dos artigos foram estudos com aplicações de bambu em quatro áreas do campo de estudo da construção civil: Estruturas, materiais de construção, hidráulica e pavimentação. Quanto aos critérios de exclusão, os artigos considerados inadequados foram aqueles que não citavam a espécie estudada, aplicações de bambu em áreas distintas as mencionadas e estudos biológicos o bambu.

Os artigos foram sistematizados no programa Excel, para separar informações quanto à espécie, aplicação, teste experimental e autor/ano da publicação. Posteriormente essas informações foram organizadas em tabelas e figuras com o intuito de obter uma análise comparativa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADOS

Após a busca dos artigos utilizando os descritores apresentados, foram obtidos um total de 5239 registros, distribuídos da seguinte forma: 1445 na base Springer, 47 na Scielo, 1360 na Science Direct e 2387 no Google Acadêmico. Entre os registros encontrados, foi realizada a leitura dos títulos bem como a identificação de duplicidade de trabalhos, sendo obtido 629 artigos. Todos os trabalhos que mencionavam o bambu com aplicações em áreas distintas à construção civil foram excluídos, sendo selecionados 127 artigos. Dos 127 artigos somente 30 continham todas as informações requeridas (espécie de bambu, tipo de aplicação e teste experimental), sendo assim incluídos na revisão de literatura (Figura 1).

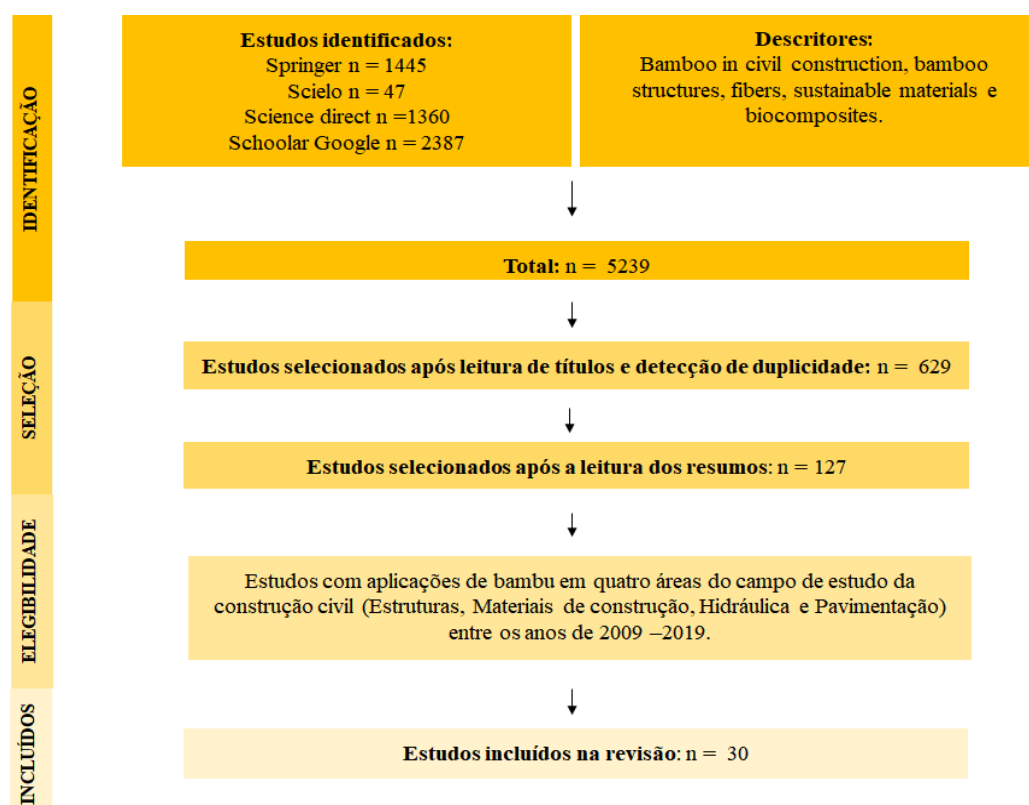


Figura 1. Fluxograma de seleção dos artigos para revisão de literatura sobre aplicações de bambu na construção civil.

Após análise dos 30 artigos incluídos na revisão, foi observada uma grande variedade de espécies de bambu que são foco de pesquisa na área da construção civil. No total, 21 espécies foram identificadas entre os trabalhos, os quais os gêneros

encontrados foram *Bambusa* (6 espécies), *Guadua* (4 espécies), *Phyllostachys* (4 espécies), *Dendrocalamus* (3 espécies), *Gigantocloa* (2 espécies), *Neosinocalamus* (1 espécie) e *Melocanna* (1 espécie). Entre as espécies mais utilizadas se destacaram *Guadua angustifolia* encontrada com a frequência de 13,9% e *Phyllostachys pubescens* também com 13,9%, seguido de *Dendrocalamus asper* (11,1%), *D. giganteus* (5,6%), *Gigantocloa atrovioleacea* (5,6%) e *Bambusa vulgaris* (5,6%) (Figura 2).

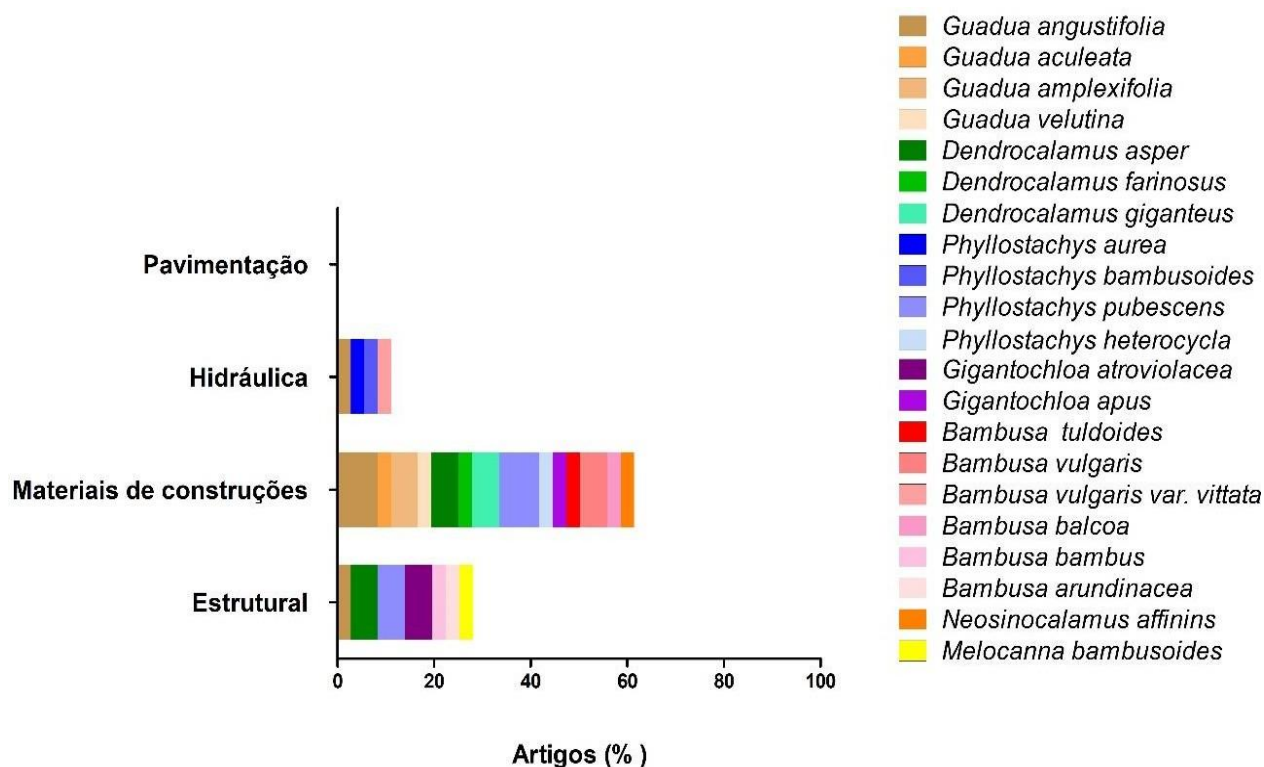


Figura 2. Frequência de espécies de bambu utilizadas em diferentes áreas da construção civil.

Entre as quatro grandes áreas estudadas, 61% dos estudos foram voltados para a reforço de materiais de construção, como: laminados, concreto, cimento, esquadrias, compósitos termoplásticos e painéis do tipo aglomerado e “scrimber”. Na área de Estruturas, 27,8% dos estudos foram aplicações para a construção de paredes de concreto reforçado com bambu, vigas, pilares, lajes, treliças, além da construção completa de uma escola utilizando somente bambu na forma bruta (colmos). Apenas 11,2% dos trabalhos estavam direcionados para aplicação na área de hidráulica, sendo identificados abordagens referentes à tratamento de esgoto utilizando sistema de alagados e sistema de distribuição de água. Para Pavimentação, nenhum estudo foi identificado (Figura 2).

Dentro de cada área, observou-se uma tendência maior para alguns tipos de usos. Na área estrutural, por exemplo, o bambu tem sido aplicado frequentemente em vigas e também na composição do concreto para construção de paredes, sendo detectados 2 trabalhos para cada uma das aplicações mencionadas. Em relação a fabricação de materiais de construção, se observou que os painéis fabricados com as fibras ou lâminas de bambu tem apresentado grande foco em pesquisas da engenharia de materiais sustentáveis. No total foram encontrados 8 trabalhos, nos quais 4 estudos foram voltados para painéis laminados, 3 para painéis aglomerados e apenas 1 para fabricação de painéis “scrimber” (Figura 3). Por fim, para área Hidráulica foram encontrados somente 2 trabalhos sendo um para distribuição de água e outro para tratamento de esgoto (Figura 3). Todos os trabalhos se valeram de testes físicos e/ou mecânicos para comprovação das aptidões de cada espécie, como mencionados na Tabela 1.

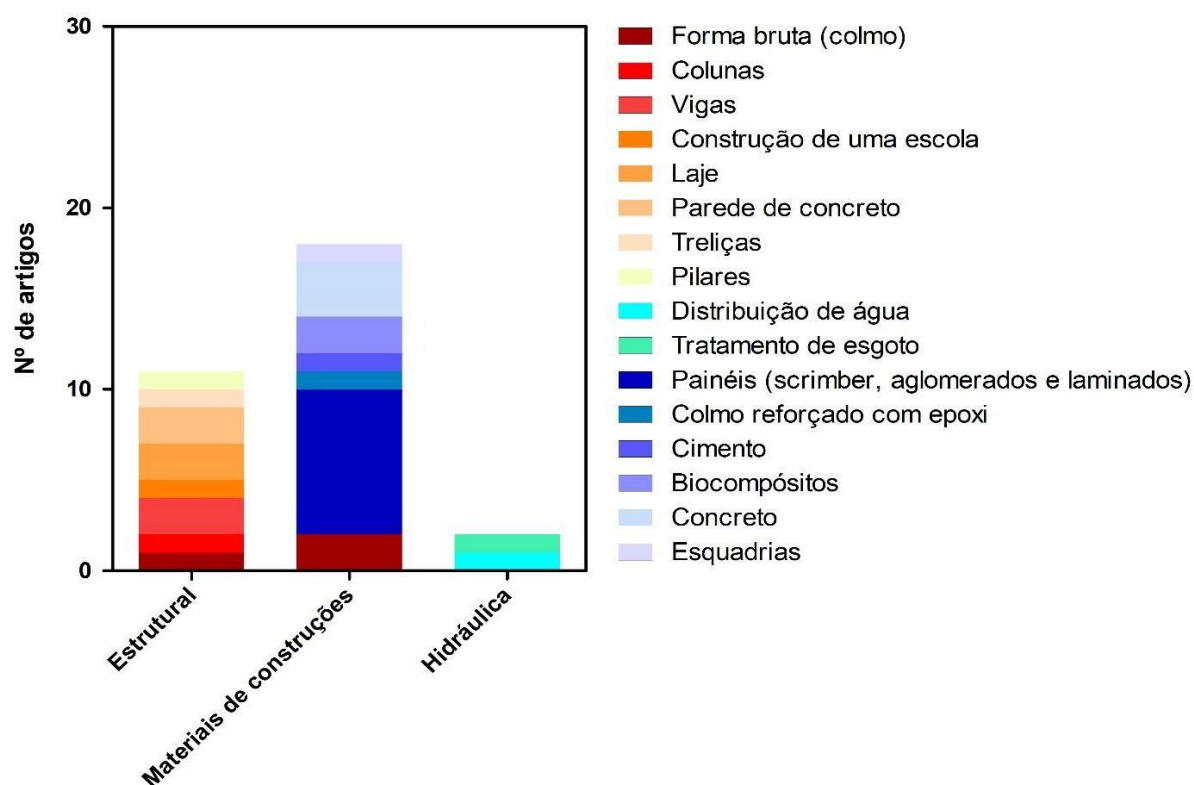


Figura 3. Tipos de aplicações de bambu dentro de três grandes áreas da construção civil.

Tabela 1. Aplicações de bambu quanto à espécie, aplicação e teste experimental.

Espécie	Aplicação	Teste experimental	Referência
<i>Guadua angustifolia</i>	Materiais: painéis laminados	Compressão, tração, corte e dobra	López; Correal, 2009
<i>Guadua angustifolia</i>	Materiais: compósitos termoplásticos	Teor de umidade, densidade, absorção, inchaço	Léon et al., 2016
<i>Guadua angustifolia</i>	Materiais: painéis aglomerados	Densidade, capacidade de absorção, porcentagem de intumescimento, tração, compressão e resistência à flexão	Sánchez; Morales; Caicedo, 2017
<i>Guadua angustifolia</i>	Estrutural: treliças	Carga estática monotônica	Villegas; Morán; García, 2019
<i>Guadua angustifolia</i> , <i>Phyllostachys aurea</i> <i>Phyllostachys bambusoides</i>	Hidráulica: tratamento de esgoto	Demanda química e oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), teor de nitrogênio amoniacal e teor de fosfato	Quege; Almeida; Ucker, 2013
<i>Guadua aculeata</i> <i>Guadua amplexifolia</i> <i>Guadua velutina</i>	Materiais: forma bruta (colmo)	Compressão, cisalhamento, flexão, módulo de elasticidade, módulo de ruptura.	Ordóñez-Candelaria; Bárcenas-Pazos, 2014
<i>Guadua amplexifolia</i>	Estrutural: forma bruta (colmo)	Compressão, e tensão de cisalhamento paralelo para o grão e flexão	Medrano; Mújica; Gutierrez, 2016
<i>Phyllostachys pubescens</i>	Estrutural: forma bruta (colmo)	Flexão na direção axial; resistências à compressão nas direções axial e transversal.	Dixon; Gibson, 2014
<i>Phyllostachys pubescens</i>	Materiais: Laminados	Testes de tensão, compressão, cisalhamento e flexão	Sharma et al., 2015
<i>Phyllostachys pubescens</i>	Materiais: painéis laminados	Propriedades de impacto	Liu et al., 2017
<i>Phyllostachys pubescens</i>	Estrutural: Colunas de concreto	Teste de compressão axial	Li et al., 2017
<i>Phyllostachys pubescens</i>	Materiais: compósitos	Compressão dinâmica e quase-estática	Hu et al., 2018
<i>Dendrocalamus asper</i>	Materiais: concreto	Teste de tração e compressão	Javadian et al., 2016
<i>Dendrocalamus asper</i>	Materiais: bambu reforçado com epoxi para concreto	Testes de tração e análises microestruturais	Rahman et al., 2017
<i>Dendrocalamus asper</i>	Estrutural: laje	Teste de carga flexural	Wibowo; Wijatmiko; Nainggolan, 2017
<i>Dendrocalamus asper</i>	Estrutural: Paredes de concreto	Resistência e ductibilidade	Leelatanon; Srivaro; Matan, 2010
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Materiais: concreto	Ensaio de flexão	Lima et al., 2014
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Materiais: esquadrias	Umidade, densidade, cisalhamento na lâmina de cola, teste de flexão estática, resistência ao esforço horizontal, resistência à flexão.	Azambuja; Affonso, 2015

<i>Dendrocalamus farinosus</i> <i>Phyllostachys heterocycla</i>	Materiais: painéis laminados	Módulo de elasticidade, módulo de ruptura, resistência horizontal ao cisalhamento, resistência à tração e resistência à compressão	Qi et al., 2015
<i>Gigantochloa atroviolacea</i> <i>Gigantochloa apus</i>	Estrutural: vigas	Teor de umidade, gravidade específica, inchaço, módulo de elasticidade e ruptura, ligação interna, dureza tangencial e axial	Cahyono et al., 2014
<i>Gigantochloa atroviolacea</i>	Estrutural: construção de uma escola utilizando colmos	Análise estrutural (software Structural Analysis Program 2000 v11); custo de construção (Padrão Nacional de Madeira na Indonésia)	Taufani; Nugroho, 2014
<i>Bambusa vulgaris</i>	Materiais: cimento	Teste de Chapelle e o método da cal saturada	Rodier et al., 2016
<i>Bambusa vulgaris</i>	Materiais: concreto	Força, resistência à flexão e carga deflexão	Karthik; Rao; Awoyera, 2017
<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	Hidráulica: sistema de distribuição de água	Massa específica, as resistências à compressão, à tração e à flexão	Mota et al., 2017
<i>Bambusa balcão</i>	Materiais: painéis	Análise de custo; avaliação de impacto ambiental; teste de flexão; cinzas volantes.	Puri et al., 2017
<i>Bambusa tuldooides</i>	Materiais: painéis aglomerados	Teor de umidade, massa específica observada, absorção d'água e inchamento em espessura; flexão estática, arrancamento de parafusos e ligação interna	Morais et al., 2015
<i>Bambusa bambus</i>	Estrutural: parede de concreto	Teste de flexão	Ganesan; Indira; Himasree, 2018.
<i>Bambusa arundinacea</i>	Estrutural: laje	Características de carga-deformação, capacidade de absorção de energia, trincas padrões e modos de falha	Mali; Datta, 2018
<i>Neosinocalamus affinis</i>	Materiais: painéis "Scrimber"	Absorção de água, estabilidade dimensional, teste de flexão e cisalhamento	Yu et al., 2017
<i>Melocanna bambusoides</i>	Estrutural: vigas e pilares	Teste de tração, carga axial, carga transversal e carga de dois pontos	Agarwal; Nanda; Maity, 2014

3.2 DISCUSSÃO

O bambu é pertencente à família Poaceae, subfamília Bambusoideae e tribo Bambuseae. Com mais de 1200 espécies identificadas, trata-se de uma planta bastante adaptada aos diversos climas desde montanhas frias até regiões tropicais quentes (LIU et al., 2012). Cerca de 64% dos plantios se encontram no sudeste da Ásia, 33% na América do Sul e restante na África e Oceania (MASTAI, 2013). Aliado à sua ampla disponibilidade bem como suas características de crescimento acelerado e boa

trabalhabilidade, o bambu se tornou um dos principais matérias-primas de interesse em regiões de desenvolvimento (KAUR et al., 2016).

Assim ao se deparar com as vantagens da utilização desse recurso, sendo alternativa sustentável para engenharia, pesquisadores tem demandado esforços para caracterização da capacidade estrutural dessa matéria prima bem como sua trabalhabilidade (ARCHILA et al., 2018). A revisão sistemática permitiu expor as principais espécies que estão sendo utilizadas em pesquisas nas diferentes áreas da construção. Com base nisso, foi observado que *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens* foram às espécies de bambu mais frequentemente utilizadas, com principais aplicações para laminados, compósitos termoplásticos e em estado bruto para construção de treliças e tratamento de esgoto.

Em relação a *G. angustifolia*, o maior número de trabalhos pode estar relacionado à ocorrência natural de espécies de *Guadua* na América do Sul, a qual segundo o Projeto Radam, foi possível identificar uma mancha de 7 milhões de hectares de bambus nativos no bioma Amazônico, sendo *Guadua* o principal gênero de ocorrência (PEREIRA; BERALDO, 2007). A espécie *G. angustifolia* tem ocorrência em países como Colômbia, Venezuela, Equador, México, Costa Rica e Brasil. Nesses países a principal aplicação é na construção estrutural vernacular. *G. angustifolia* é um bambu gigante e produto laminado dessa espécie têm demonstrado propriedades melhores que madeira serrada (BARRETO, 2003; DURAN, 2003; LÓPEZ; CORREAL, 2009).

Tal fato ocorre devido às características anatômicas de *G. angustifolia* como a distribuição das fibras de forma axial, uma vez que é determinante para as propriedades mecânicas de laminados (LÓPEZ; CORREAL, 2009). Além disso, *G. angustifolia* se mostrou altamente adaptável a ambientes contaminados, conseguindo crescer e principalmente promover o tratamento de águas residuárias, diminuindo a carga poluidora e melhorando os atributos físicos e químicos da água (QUEGE; ALMEIDA; UCKER 2013). Outras espécies de *Guadua*, como *G. aculeata*, *G. velutina* e *G. amplexifolia* foram utilizadas em estruturas e materiais de construção em sua forma bruta (somente colmo). Ambas são empregadas em construções simples, em paredes e cruzamentos de casas, utilizados tanto na forma bruta como desdobrados em tábuas (CORTÉS, 2006). Essas espécies possuem poucos relatos na literatura, tendo uso empírico devido às informações tecnológicas limitadas quando comparado à *G. angustifolia*. Porém, em estudo avaliando propriedades de *G. aculeata*, como: densidade básica, umidade, contrações totais, teste deflexão, corte, compressão e tensão paralela à fibra se mostraram semelhantes a *G.*

angustifolia (ZARAGOZA-HERNÁNDEZ et al., 2015). Se tratando de *G. velutina*, foi avaliada sua condutividade térmica para o emprego em construções, porém apresentou baixa difusividade térmica em relações a outros materiais (GALLEGOS-VILLELA et al., 2016).

Assim como *Guadua*, o gênero *Phyllostachys* também obteve destaque. A espécie *P. pubescens* teve 13,9% (Figura 2) de frequência entre os trabalhos. *Phyllostachys pubescens* é uma planta de origem chinesa, introduzida na Europa, Coréia, Vietnã, Japão, EUA e outros países (AKINLABI; ANANE-FENIN; AKWADA, 2017). Conhecido como bambu mosso, trata-se de uma espécie alastrante característica de clima subtropical, a qual é utilizada desde alimentação (brotos) até como matéria prima industrial (LIESE; WELLING; TANG, 2015). Têm sua produção destacada em países como China e Japão. Na China, os bambuzais de mosso chegam a ocupar 70% das florestas nativas e plantadas de bambu com quase 3,1 milhões de hectares (FU, 2001).

Além desta, outras três espécies de *Phyllostachys* foram encontradas nos estudos: *P. aurea*, *P. bambusoides* e *P. heterocycla*. Espécies desse gênero foram empregadas nos trabalhos tanto na forma bruta, como beneficiados no caso de: laminados, compósitos, elementos estruturais e no tratamento de águas residuárias. A anatomia do colmo desse gênero, formam feixes vasculares distribuídos de forma crescente da parte interna para parte externa ao longo da direção radial. Além disso, as fibras do esclerênquima são determinantes para as propriedades de tração do bambu mosso (SHAO et al., 2010).

Outro gênero de bambu com crescente demanda na indústria bambuzeira é *Dendrocalamus*. Este bambu é característico de clima frio, suportando temperaturas mínimas de -2 ° C e altitudes de 700-2000 m, porém também pode crescer em clima tropical (BANIK, 2016). Sua distribuição geográfica está em países como Bangladesh, Butão, Mynamar, China, Índia, Indonésia, Japão, Kampuchea, Laos, Malásia, entre outros, e possui diâmetro variável de 10 a 20 cm (PEREIRA; BERALDO, 2007).

As espécies *D. giganteus*, *D. asper* e *D. farinosus* tiveram aplicações voltadas principalmente na área estrutural, como reforço de concreto, paredes, lajes, esquadrias e em materiais de construção como os laminados. Na literatura, pesquisas com espécies de *Dendrocalamus* estão em sua maioria voltada para serviços pesados na construção como estruturas de edifícios, reforços de concreto, andaimes, telhas, podendo também ser utilizada na alimentação (AKINLABI; ANANE-FENIN; AKWADA, 2017). Aspecto como espessura da parede do colmo e linearidade ao longo do fuste, além da

produtividade florestal faz com que *Dendrocalamus* se destaque na indústria favorecendo o aumento de pesquisas envolvendo este bambu (OSTAPIV, 2011).

Assim como as espécies de *Dendrocalamus*, *Gigantochloa atrovioleacea* e *Bambusa vulgaris* se destacaram com 5,6 % (Figura 2) de frequência cada, entre os trabalhos. Atualmente, o gênero *Gigantochloa* compreende cerca de 55 espécies, com maior abundância em regiões tropicais (BANIK, 2016). *G. atrovioleacea* juntamente com *G. apus* constituem as espécies de bambu mais importantes economicamente na Indonésia, empregadas principalmente em materiais de construções, tubulações de água, móveis, artesanatos e instrumentos musicais (BANIK, 2016).

Entre os trabalhos selecionados, *Gigantochloa* foi aplicado puramente na área estrutural, como vigas construídas a partir de *G. apus* e construção de uma escola inteiramente com colmos da espécie *G. atrovioleacea*. Esse tipo de aplicação estrutural utilizando somente colmo em substituição à madeira é uma tendência que pode dar certo. Tal fato se dá devido às propriedades de tração do bambu, a qual é duas vezes maior que a madeira bruta convencional e as propriedades de compressão, chegam a 1,5 vezes maiores que madeira. Além disso, a relação força/peso é maior que madeira e comparável ao aço (RASSIAH; AHMAD, 2013).

Já espécies de *Bambusa* são de médio a grande porte possuindo colmos espessos e rígidos conferindo força e rigidez a planta. É típica de região tropical, podendo crescer também em climas subtropicais. É naturalmente encontrada em países como Austrália, Bangladesh, Butão, Birmânia, Paquistão, China, Índia, Japão, Indonésia, Vietnã, Malásia e outros (BANIK, 2016). Dentro da revisão, a espécie *Bambusa vulgaris* fez parte de 5,6% (Figura 2) dos trabalhos relatados, além disso, foi o gênero com maior número de espécies com pesquisas para construção civil, sendo: *B. vulgaris*, *B. bambus*, *B. arundinacea*, *B. balcoa*, *B. tuldooides* e *B. vulgaris var. vittata*.

Bambusa vulgaris é relatada frequentemente para uma infinidade de usos como, celulose e papel, combustível, artesanato, placas, compósitos, móveis, além da construção civil (GUIMARÃES; NOVACK; BOTARO, 2010; GUARNETTI, 2013). Trata-se de uma das mais fortes espécies de bambu para fins da construção, utilizado principalmente para construção de andaimes, obras estruturais de casas na Índia e Bangladesh. Além disso, pode ser utilizado em objetos mais simples como móveis, cercas, brinquedos e implementos agrícolas (BANIK, 2016). Devido às propriedades de flexão e cisalhamento, espécies de *Bambusa* tem se destacado por ter sua capacidade de carga melhorada quando comparada a vigas não reforçadas (MAHZUZ et al., 2015).

Outras espécies de bambu foram citadas entre os trabalhos, porém em menor quantidade. Foi encontrado apenas um trabalho com *Neosinocalamus* sendo da espécie *N. affinis*, assim como *Melocanna* com a espécie *M. bambusoides*. *Neosinocalamus* é nativo da China, empregado em construções, mobiliário e artesanato. Na revisão essa espécie foi utilizada como material de construção em laminados tipo “scrimber”. Porém trata-se de um bambu com características anatômicas inferiores aos outros por ter parede do colmo mais fina e menor diâmetro, resultando em baixo rendimento na sua produção (XIE, 2017).

Da mesma forma, o gênero *Melocanna* tem paredes finas, porém possui maior durabilidade e tem vantagem de ser retilínea e com pequenos nós. A planta tem ocorrência em países como Índia, Bangladesh e Myanmar, nos quais são empregados em construções rurais como casas, galpões e celeiros (WATSON; DALLOWITZ, 1992; BANIK, 2000). No entanto, o principal uso tem sido para a produção de celulose, com cerca de 15 a 50 milhões de colmos produzidos por ano. Entretanto, são também comumente utilizados na alimentação pelo consumo dos brotos (BANIK, 2016).

Assim foi possível observar que as ótimas propriedades físicas e mecânicas de uma gama de espécies de bambu têm garantido o desenvolvimento de produtos da engenharia de alto desempenho, garantindo uma nova tendência de mercado da construção baseado em produtos renováveis sustentáveis (VERMA, 2017).

4. CONCLUSÕES

Essa revisão mostrou o uso de materiais alternativos para a construção civil como parte de materiais de construção, estrutural e hidráulico. Por isso, tem sido foco de estudos e aplicações nos últimos anos, principalmente devido ao impacto ambiental causado por materiais convencionais, como o cimento, o aço e as madeiras nativas, principalmente do bioma amazônico.

Sendo assim, o bambu se destaca como uma alternativa interessante, devido às suas excelentes características físico-mecânicas e por ser um recurso renovável, com alta capacidade de sequestro de carbono que pode substituir, além da madeira, outros materiais sólidos na construção civil.

Os principais estudos para utilização têm sido das propriedades físico-mecânicas, porém o bambu como material biológico deve se ter a preocupação do estudo de sua resistência aos microrganismos xilófagos e as intempéries.

Por fim, se verificou a partir dessa revisão que as duas espécies de bambu com maior aplicação na construção civil são *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens*, sendo o principal uso para a produção de materiais de construção.

5. REFERÊNCIAS

AGARWAL, A.; NANDA, B.; MAITY, D. Experimental investigation on chemically treated bamboo reinforced concrete beams and columns. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 610-617, 2014.

AGOPYAN, V. Construção Civil consome até 75% da matéria-prima do planeta. Disponível: <<http://redeglobo.globo.com/globociencia/noticia/2013/07/construcao-civil-consome-ate-75-da-materia-prima-do-planeta.html>> Acesso 06/06/2019.

AKINLABI, E.T.; ANANE-FENIN, K.; AKWADA, D.R. **Bamboo: The Multipurpose Plant**. 1º ed. Springer, 2017.

ARCHILA, H.; KAMINSKI, S.; TRUJILLO, D.; ESCAMILLA, E.Z.; HARRIES, K. A. Bamboo reinforced concrete: a critical review. **Materials and Structures**, v. 51, n. 4, p. 102, 2018.

ATANDA, J. Environmental impacts of bamboo as a substitute constructional material in Nigeria. **Case Studies in Construction Materials**, v. 3, p. 33-39, 2015.

AWOYERA, P.O.; UGWU, E.I. Sustainability and Recycling of Bamboo for Engineering Applications. **Materials Science and Materials Engineering**. v. 1, p. 1-11, 2016.

AZAMBUJA M.A.D.; AFFONSO, S.B.A. Arquitetura ecológica de esquadrias de bambu. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 3, n. 16, p.1-18, 2015.

BANIK, R. L. **Silviculture and field guide to priority bamboos of Bangladesh and South Asia**. 1º ed. Bangladesh Forest Research Institute, 2000.

BANIK, R.L. **Silviculture of South Asian priority bamboos**. 1º ed. Springer, 2016.

BARRETO, W. **Evaluación de Guadua laminada pegada aplicada a propuesta de reticulado plano**. (Trabajo de Finalización del Curso) Graduación en Arquitectura - Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2003.

CAHYONO, T.D.; NOVRIYANI, E.; BAHTIAR, E.T.; MASSIJAYA, M. Y. Development of composite beams made from tali (*Gigantochloa apus*) and hitam bamboo (*Gigantochloa atroviolacea*). **Journal of the Indian Academy of Wood Science**, v. 11, n. 2, p. 156-161, 2014.

CORTÉS, G.R. O bambu no México: as pessoas, a planta e o meio ambiente.

Disponível:<<http://www.bambumex.org/paginas/GentePlantand Environment.pdf>>. Acesso em 04/05/ 2019.

DIXIT, S.; MANDAL, S.N.; SAWHNEY, A.; SINGH, S. Relationship between skill development and productivity in construction sector: A literature review. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 8, n. 8, p. 649-665, 2017.

DIXON, P.G.; GIBSON, L.J. The structure and mechanics of Moso bamboo material. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 11, n. 99, p. 1-12, 2014.

DURAN, L. **Estudio de Guadua laminada y su aplicacion al sistema tensegrity**. (Thesis) Doctorado en Architecture, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2003.

ESCAMILLA, E.Z.; HABERT, G. Environmental impacts of bamboo-based construction materials representing global production diversity. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, n. 1, p. 117-127, 2014.

FAN, M.; FU, F. **Advanced high strength natural fibre composites in construction**. 1^o ed. Woodhead Publishing, 2016.

FEI, P.; XIONG, H.; CAI, J.; LIU, C.; YU, Y. Enhanced the weatherability of bamboo fiber-based outdoor building decoration materials by rutile nano-TiO₂. **Construction and Building Materials**, v. 114, p. 307-316, 2016.

FELIX, E.F.; POSSAN, E. Balance emissions and CO₂ uptake in concrete structures: simulation based on the cement content and type. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 11, n. 1, p. 135-162, 2018.

FU, J. Chinese moso bamboo: its importance. **Bamboo**, v. 22, n. 5, p. 5-7, 2001.

GALLEGOS-VILLELA, R.R; SÁNCHEZ-MEDRANO, M.T.; AVALOS-PEREZ, M. A.; SUAREZ-DOMINGUEZ, E.J. Thermal conductivity of bamboo (*Guadua velutina*) in earthen construction of sustainable structures. **International Journal of Engineering and Technical Research**, v. 5, n. 3, p. 2321-0869, 2016.

GANESAN, N.; INDIRA, P. V.; HIMASREE, P. R. Bamboo reinforced concrete wall panels under one way in-plane action. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-14, 2018.

GLOBAL DATA. Global Construction Outlook to 2022: Q3 2018 Update. Disponível em: <<https://www.globaldata.com/store/report/gdcn0010go--global-construction-outlook-to-2022-q3-2018-update/>> Acesso 06/06/2019.

GUARNETTI, R.L. **Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: aspectos técnicos econômicos e ambientais**. (Tese) Doutorado em Energia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

GUIMARÃES, M.J.; NOVACK, K.M.; BOTARO, V.R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 11, n. 7, p. 442-456, 2010.

HU, D.; SONG, B.; DANG, L.; ZHANG, Z. Effect of strain rate on mechanical properties of the bamboo material under quasi-static and dynamic loading condition. **Composite Structures**, v. 200, p. 635-646, 2018.

JAVADIAN, A.; WIELOPOLSKI, M.; SMITH, I. F.; HEBEL, D.E. Bond-behavior study of newly developed bamboo-composite reinforcement in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 110-117, 2016.

KARTHIK, S.; RAO, P.R.M.; AWOYERA, P. O. Strength properties of bamboo and steel reinforced concrete containing manufactured sand and mineral admixtures. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, v. 29, n. 4, p. 400-406, 2017.

KAUR, P.J.; PANT, K.K.; SATYA, S.; NAIK, S. N. Bamboo: the material of future. **International Journal Series in Multidisciplinary**, v. 2, n. 2, p. 27-34, 2016.

LEELATANON, S.; SRIVARO, S.; MATAN, N. Compressive strength and ductility of short concrete columns reinforced by bamboo. **Sonklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 32, n. 4, p. 419, 2010.

LEÓN, K.C.L.; MORA, H.E.G., OSCANO, A.J.C; CAMPUSANO, J.G. Evaluación de las propiedades físicas de material compuesto elaborado con bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) y polipropileno. **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, v. 7, n. 38, p. 79-94, 2016.

LI, W.T.; LONG, Y.L.; HUANG, J.; LIN, Y. Axial load behavior of structural bamboo filled with concrete and cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 273-287, 2017.

LIESE, W.; WELLING, J.; TANG, T.K.H. **Utilization of bamboo**. Bamboo, 1ª ed. Springer, 2015.

LIMA, D.M.; AMORIM, M.M.; JÚNIOR, H.C.L.; BARBOSA, N.P.; WILRICH, F.L. Avaliação do comportamento de vigas de bambu laminado colado submetidas à flexão. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 15-27, 2014.

LI, W. T.; LONG, Y. L.; HUANG, J.; LIN, Y. Axial load behavior of structural bamboo filled with concrete and cement mortar. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 273-287, 2017.

LIU, D.; SONG, J.; ANDERSON, D.P., CHANG, P.R.; HUA, Y. Bamboo fiber and its reinforced composites: structure and properties. **Cellulose**, v. 19, n. 5, p. 1449-1480, 2012.

LIU, H.; JIANG, Z.; SUN, Z.; YAN, Y.; CAI, Z.; ZHANG, X. Impact performance of two bamboo-based laminated composites. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 75, n. 5, p. 711-718, 2017.

LÓPEZ, L.F.; CORREAL, J. F. Estudio exploratorio de los laminados de bambú *Guadua angustifolia* como material estructural. **Maderas Ciencia y Tecnología**, v. 11, n. 3, p. 171-182, 2009.

LOU, Y.; LI, Y., BUCKINGHAM, K.; HENLEY, G.; ZHOU, G. **Bamboo and climate change mitigation**. 32ª ed. Technical Report-International Network for Bamboo and Rattan (INBAR), 2010.

MAHDAVI, M.; CLOUSTON, P.L.; ARWADE, S.R. Desenvolvimento de madeira laminada de bambu: revisão de processamento, desempenho e considerações econômicas. **Revista de Materiais em Engenharia Civil**, v. 23, n. 7, p. 1036-1042, 2010.

- MAHZUZ, H.M.A.; AHMED, M.; DUTTA, J.; ROSE, R.H. Use of bamboo (*Bambusa balcoa*) as reinforcement in concrete beam. **International Journal of Structural Engineering**, v. 6, n. 2, p. 89-108, 2015.
- MALI, P.R.; DATTA, D. Experimental evaluation of bamboo reinforced concrete slab panels. **Construction and Building Materials**, v. 188, p. 1092-1100, 2018.
- MASTAI, Y. **Materials science-advanced topics**. 1ª ed. Intechopen, 2013.
- MAURY, M.B.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente. **Sustentabilidade em Debate**. v. 3, n. 1, p. 75-96, 2012.
- MEDRANO, M.T.S.; MÚJICA, J.A.E.; GUTIERREZ, R.S.R. El bambú como elemento estructural: la especie *Guadua amplexifolia*. **Nova Scientia**, v. 8, n. 17, p. 657-677, 2016.
- MOHER, D.; SHAMSEER, L.; CLARKE, M.; GHERSI, D.; LIBERATI, A.; PETTICRE W, M.; SHEKELLE, P.; STEWART, L.A. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. **Systematic Reviews**, v. 4, n. 1, p. 1, 2015.
- MORAIS, W.W.C.; HASELEIN; C.R.; SUSIN, F.; VIVIAN, M.A.; MORAIS, J.B.F. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com *Bambusa tuldoidea* e *Pinus taeda*. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 1015-1026, 2015.
- MOTA, I.D.O.; PEREIRA, M.A; DAMACENA, P.C.; SANTOS, L.C.B. 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**, v. 19, n. 1, p. 18-26, 2017.
- ORDÓÑEZ-CANDELARIA, V.R.; BÁRCENAS-PAZOS, G.M. Propiedades físicas y mecánicas de tres especies de guaduas mexicanas (*Guadua aculeata*, *Guadua amplexifolia* y *Guadua velutina*). **Madera y Bosques**, v. 20, n. 2, p. 111-125, 2014.
- OSTAPIV, F. **Resistência mecânica do material compósito: madeira de eucalipto-lâmina de bambu**. (Tese) Doutorado em Engenharia Mecânica –Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2011.
- OSTAPIV, F.; SALAMON, C.; GONÇALVES, M.T.T. Cursos tecnológicos de bambu *Guadua* no Acre: perspectivas sustentáveis e inovadoras. **Revista Científica de Educação**, v. 10, n. 10, p. 27, 2008.
- PEREIRA, M.A. R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. 1ª ed. Body and Soul Bamboo, 2007.
- PURI, V.; CHAKRABORTTY, P.; ANAND, S.; MAJUMDAR, S. Bamboo reinforced prefabricated wall panels for low cost housing. **Journal of Building Engineering**, v. 9, p. 52-59, 2017.
- QI, J.; XIE, J.; YU, W.; CHEN, S. Effects of characteristic inhomogeneity of bamboo culm nodes on mechanical properties of bamboo fiber reinforced composite. **Journal of Forestry Research**, v. 26, n. 4, p. 1057-1060, 2015.
- QUEGE, K.E.; ALMEIDA, R.A; UCKER, F.E. Utilização de plantas de bambu no tratamento de esgoto sanitário pelo sistema de alagados construídos. **Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology**, v. 10, n. 10, p. 2069-2080, 2013.

RAHMAN, N., SHING, L. W., SIMON, L., PHILIPP, M., ALIREZA, J., LING, C. S., WUAN, L. H.; VALAVAN, S. NEE, S. S. Enhanced bamboo composite with protective coating for structural concrete application. **Energy Procedia**, v.143, p.167-172, 2017.

RASSIAH, K.; AHMAD, M.M.H. Bamboo, thermoplastic, thermosets, and their composites: a review. **Applied Mechanics and Materials**, v. 330, p. 53-61, 2013.

RIBEIRO, R.A.S.; RIBEIRO, M.G.S.; SANKAR, K.; KRIVEN, W.M. Geopolymer-bamboo composite – A novel sustainable construction material. **Construction and Building Materials**, v.123, p. 501-507, 2016.

RODIER, L.; BILBA, K.; ONÉSIPPE, C.; ARSÈNE, M.A. Study of pozzolanic activity of bamboo stem ashes for use as partial replacement of cement. **Materials and Structures**, v. 50, n.1, p. 87, 2017.

MARTÍNEZ L., KHARISSOVA O.; KHARISOV B. **Handbook of Ecomaterials**. 1^a ed. Springer, 2018.

SÁNCHEZ, M.L.; MORALES, L.Y.; CAICEDO, J.D. Physical and mechanical properties of agglomerated panels made from bamboo fiber and vegetable resin. **Construction and Building Materials**, v. 156, p. 330-339, 2017.

SHAMSEER, L.; MOHER, D.; CLARKE, M.; GHERSI, D.; LIBERATI, A.; PETTICREW, M.; SHEKELLE, P.; STEWART, L.A. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015: elaboration and explanation. **British Medical Journal**, v. 349, n.1, p. 1-25, 2015.

SHAO, Z. P.; FANG, C. H.; HUANG; S. X.; TIAN, G. L. Ensil properties of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) and its components with respect to its fiber-reinforced composite structure. **Wood Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 655-666, 2010.

SHARMA, B.; GATÓO, A.; BOCK, M.; RAMAGE, M. Engineered bamboo for structural applications. **Construction and Building Materials**, v. 81, p. 66-73, 2015.

TAUFANI, A.R.; NUGROHO, A.S.B. Proposed bamboo school buildings for elementary schools in Indonesia. **Procedia Engineering**, v. 95, p. 5-14, 2014.

VERMA, C. S.; PUROHIT, R.; RANA, R. S.; MOHIT, H. Mechanical properties of bamboo laminates with other composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 2, p. 3380-3386, 2017.

VILLEGAS, L.; MORÁN, R.; GARCÍA, J.J. Combined culm-slat *Guadua* bamboo trusses. **Engineering Structures**, v.184, p. 495-504, 2019.

WATSON, L.; DALLWITZ, M.J. **The grass genera of the world**. 1^a ed. Center for Agriculture and Bioscience International, 1992.

WEI, Y.; JI, X.; DUAN, M.; LI, G. Flexural performance of bamboo scrimber beams strengthened with fiber-reinforced polymer. **Construction and Building Materials**, v. 142, p. 66-82, 2017.

WIBOWO, A.; WIJATMIKO, I.; NAINGGOLAN, C.R. Structural behavior of lightweight bamboo reinforced concrete slab with EPS infill panel. **American Institute of Physics Conference Proceedings**. v. 1887, n. 1, p. 1-7, 2017.

XIAO, Y.; ZHOU, Q.; SHAN, B. Design and construction of modern bamboo bridges. **Journal of Bridge Engineering**, v. 15, n. 5, p. 533-541, 2009.

XIE, J.; QI, J.; HU, T.; XIAO, H.; CHEN, Y.; CORNELIS, F.; HUANG, X. Anatomical characteristics and physical–mechanical properties of *Neosinocalamus affinis* from Southwest China. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 75, n. 4, p. 659-662, 2017.

XU, M.; CUI, Z.; CHEN, Z.; XIANG, J. Experimental study on compressive and tensile properties of a bamboo scrimber at elevated temperatures. **Construction and Building Materials**, v. 151, p. 732-74, 2017.

YU, Y.; LIU, R., HUANG, Y., MENG, F.; YU, W. Preparation, physical, mechanical, and interfacial morphological properties of engineered bamboo scrimber. **Construction and Building Materials**, v. 157, p. 1032-1039, 2017.

ZARAGOZA-HERNANDEZ, I.; ORDONEZ-CANDELARIA, V.R.; BARCENAS-PAZOS, G.M.; BORJA-DE LA ROSA, A.M.; ZAMUDIO-SANCHEZ, F. Physical-mechanical properties of a Mexican *Guadua* (*Guadua aculeata*). **Maderas: Ciencia y Tecnologia**, v. 17, n. 3, p. 505-516, 2015.

CAPÍTULO II

Bioprospecção de fungos endofíticos de *Guadua* spp. com potencial para o tratamento preservativo de bambu

Bioprospecção de fungos endofíticos de *Guadua* spp. com potencial para o tratamento preservativo de bambu

Fernanda Viana Diniz¹; Leila Priscila Peters¹; Clarice Maia Carvalho¹.

1. Programa de Pós-Graduação em Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Universidade Federal do Acre (UFAC), Rio Branco, Acre, Brasil.

RESUMO

Fungos apodrecedores são a principal causa da baixa durabilidade do bambu, dificultando o seu uso pelo mercado. Nesse contexto, metabólitos de fungos endofíticos pode ser uma alternativa sustentável eficaz para preservação do colmo. Assim, o objetivo deste trabalho foi selecionar extratos de fungos endofíticos de *Guadua* spp. com potencial para preservação do colmo de bambu. Para tanto, foram coletadas seis varas de colmo de bambu para o isolamento de fungos apodrecedores e amostras de folhas e colmos de seis indivíduos distintos para o isolamento de fungos endofíticos. Os fungos apodrecedores e endofíticos isolados foram caracterizados macro e microfologicamente. Os fungos apodrecedores foram avaliados quanto sua atividade celulolítica e lignolítica e os três fungos com maiores atividades enzimáticas foram selecionados para teste de antagonismo frente aos extratos de fungos endofíticos. Os extratos metabólitos fúngicos com maior inibição de crescimento dos três fungos apodrecedores testados foram selecionados para a produção em larga escala e avaliação da Concentração Inibitória Mínima (CIM). Fungos envolvidos no teste de CIM foram selecionados para identificação molecular. Foram isolados 123 fungos apodrecedores de *Guadua* spp., agrupados em 41 morfoespécies. Foram identificados os gêneros *Acremonium* (14,6%), *Fusarium* (12,2%), *Absidia* (8,9%), *Trichoderma* (5,7%), *Cylindrocladium* (2,4%), *Botrytis* (0,8%), *Penicillium* (0,8%) e *Aspergillus* (0,8%) e não identificados (53,8%). Os fungos apodrecedores *Fusarium chlamydosporum* (7.3), *Fusarium oxysporum* (7.21) e NI sp. 3 (7.25) apresentaram os maiores valores para atividade celulolítica e lignolítica, sendo selecionados para os testes de antagonismo frente aos extratos de fungos endofíticos. Foram isolados 166 fungos endofíticos de *Guadua* spp. agrupados em 42 morfoespécies, pertencentes aos gêneros *Fusarium* (21,1%), *Xylaria* (13,3%), *Cladosporium* (9,6%), *Botrytis* (4,8%) *Colletotrichum* (5,4%), *Penicillium* (5,4%), *Aspergillus* (2,4%), *Verticillium* (0,6%), *Graphium* (0,6%), *Hypoxylon* (0,6%) e não identificados (36,2%). De 42 extratos testados, 13 demonstraram atividade antagônica a pelo menos um fungo apodrecedor testado. Dois extratos apresentaram maior espectro de antagonismo, sendo o primeiro referente ao fungo *Hypoxylon fendleri* (2.5702) a qual reduziu o crescimento das colônias fúngicas em todas as concentrações testadas e o segundo NI sp. 20 (2.5767) que reduziu nas concentrações variando de 250 mg.ml⁻¹ a 32,25 mg.ml⁻¹. Assim foi possível evidenciar o potencial de extratos de fungos endofíticos de *Guadua* spp. podendo ser uma alternativa promissora para o tratamento preservativo de colmos de bambu.

Palavras-chaves: Enzimas lignocelulolíticas; fungos apodrecedores; extratos metabólitos

ABSTRACT

Rotting fungi are the main cause of bamboo's low durability, making it difficult for the market to use it. In this context, metabolites of endophytic fungi can be an effective sustainable alternative for stem preservation. Thus, the objective of this work was to select extracts of endophytic fungi from *Guadua* spp. with potential for preserving the bamboo stalk. For that, six bamboo stalk sticks were collected for the isolation of decaying fungi and samples of leaves and stems of six different individuals for the isolation of endophytic fungi. The decaying and endophytic fungi isolated were characterized macro and microfologically. The decaying fungi were evaluated for their cellulolytic and lignolytic activity and the three fungi with the highest enzymatic activities were selected for antagonism testing against extracts of endophytic fungi. The fungal metabolite extracts with greater growth inhibition of the three rotting fungi tested were selected for large-scale production and evaluation of the Minimum Inhibitory Concentration (MIC). Fungi involved in the MIC test were selected for molecular identification. 123 rotting fungi of *Guadua* spp. were isolated, grouped into 41 morphospecies. The genera *Acremonium* (14.6%), *Fusarium* (12.2%), *Absidia* (8.9%), *Trichoderma* (5.7%), *Cylindrocladium* (2.4%), *Botrytis* (0.8%) were identified, *Penicillium* (0.8%) and *Aspergillus* (0.8%) and unidentified (53.8%). The decaying fungi *Fusarium chlamydosporum* (7.3), *Fusarium oxysporum* (7.21) and NI sp. 3 (7.25) showed the highest values for cellulolytic and lignolytic activity, being selected for antagonism tests against extracts of endophytic fungi. 166 endophytic fungi from *Guadua* spp. grouped into 42 morphospecies, belonging to the genera *Fusarium* (21.1%), *Xylaria* (13.3%), *Cladosporium* (9.6%), *Botrytis* (4.8%), *Colletotrichum* (5.4%), *Penicillium* (5.4%), *Aspergillus* (2.4%), *Verticillium* (0.6%), *Graphium* (0.6%), *Hypoxylon* (0.6%) and unidentified (36.2%). Of 42 extracts tested, 13 demonstrated antagonistic activity to at least one tested rotting fungus. Two extracts showed a greater spectrum of antagonism, the first referring to the fungus *Hypoxylon fendleri* (2.5702) which reduced the growth of fungal colonies in all tested concentrations and the second NI sp. 20 (2.5767), which decreased in concentrations ranging from 250 mg.ml⁻¹ to 32.25 mg.ml⁻¹. Thus, it was possible to evidence the potential of extracts of endophytic fungi from *Guadua* spp. it can be a promising alternative for the preservative treatment of bamboo stems.

Keywords: Lignocellulolytic enzymes; decaying fungi; metabolite extracts

Introdução

O bambu é uma planta amplamente distribuída na Amazônia, especialmente no estado do Acre, onde possui sete milhões de hectares de bambus nativos, sendo *Guadua* spp. a principal espécie relatada (PEREIRA; BERALDO, 2007). Devido ao seu crescimento acelerado e ótimas características físico-mecânicas, o bambu é uma espécie que tem despertado interesse no setor econômico de produtos florestais, principalmente

por ser uma alternativa à redução da pressão de espécies madeireiras comerciais e ser um material potencial a ser empregado na construção civil (AWOYERA; UGWU, 2016; GEISS; DAMAS, 2017).

Entretanto, por se tratar de um material biológico vegetal, o bambu está sujeito à deterioração causada por organismos xilófagos (GARCÍA-ORTIZ; BENÍTEZ-ROCHA, 2017). Dentre estes, destacam-se os fungos apodrecedores, causadores de manchas escuras e podridão do colmo, resultando na perda das características físico-mecânicas e depreciação do valor comercial do bambu (SHEVCHENKO et al., 2013).

Devido a isso, métodos químicos de preservação de madeira vêm sendo amplamente empregados para a preservação do colmo, todavia geram impactos ao meio ambiente devido à toxicidade ao homem e animais, pela presença de metais pesados (SCHULTZ, 2014). Assim, alternativas sustentáveis, como a utilização de produtos menos nocivos ao ambiente são primordiais para o desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento (SINGH; SINGH, 2012a).

Neste sentido, metabólitos microbianos provenientes de fungos endofíticos são uma alternativa sustentável eficaz para a preservação do colmo do bambu. Os endófitos vivem em associação com a planta na natureza, resultando na produção de substâncias ativas, aos quais atuam principalmente na defesa da planta contra fitopatógenos (KUMAR; KAUSHIK, 2012). Assim, o objetivo deste trabalho foi selecionar fungos endofíticos de *Guadua* spp. para a preservação do colmo de bambu.

Material e Métodos

Isolamento dos fungos apodrecedores de Guadua sp.

Amostras de bambu do gênero *Guadua* spp. foram coletados no Parque Zoobotânico da Universidade Federal do Acre (UFAC) tendo como coordenada

9°57'29.0" S 67°52'25.0" W (Rio Branco – AC).

O isolamento de fungos apodrecedores foi realizado a partir de colmos de *Guadua* spp. com comprimento e largura de 2 x 2 cm. Para isso, seis amostras de colmo foram enterradas por 16 semanas no campo experimental da UFAC. O isolamento dos fungos apodrecedores foi realizado utilizando duas técnicas. A primeira consistiu na desinfestação dos corpos de prova em solução de hipoclorito de sódio na concentração de 2,5 % por 15 segundos e lavagem em água destilada esterilizada por duas vezes. Os fragmentos foram transferidos para placas de Petri contendo meio de cultura malte e ágar (20:15 g.L⁻¹) suplementado com antibiótico cloranfenicol (100 mg.L⁻¹), sendo um corpo de prova por placa de Petri e incubadas a 28 °C (ARAÚJO et al., 2010). Após crescimento, os fungos foram purificados utilizando o método de estria por esgotamento (ALFENAS; MAFIA, 2007) (Figura 4).

O segundo método utilizado consistiu em armazenar as amostras em câmara úmida, onde semanalmente foram examinadas quanto à presença de estruturas fúngicas com auxílio de um microscópio estereoscópico. As estruturas foram retiradas com uma agulha e transferidas para placas contendo meio Batata-Dextrose-Ágar (BDA) e purificadas por repique de três pontos (SHEARER et al., 2004). Após a obtenção da colônia pura, foram armazenadas em tubos com meio BDA (Figura 4).

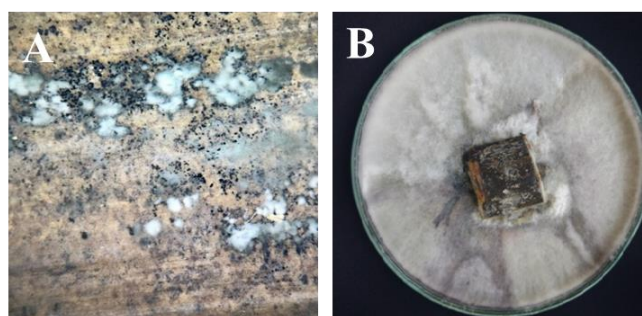


Figura 4. Isolamento de fungos apodrecedores de bambu *Guadua* spp.; **A.** Método de Shearer et al., (2004); **B.** Método de Araújo et al., (2010).

Atividade celulolítica e lignolítica de fungos apodrecedores de Guadua sp.

Para o teste de degradação de celulose, os fungos foram inoculados em meio BDA e incubados a 28 °C por 7 dias, sendo retirados plugs de 5 mm, que foram cultivados em meio ágar carboximetilcelulose (CMC) (carboximetilcelulose 10 g, ágar, 20g por litro). Após a incubação por 7 dias a 28 °C, as placas foram coradas com 10 mL de corante iodo de gram por 10 min para a observação e mensuração do halo de degradação. Foi determinado o índice enzimático (IE), mediante a razão entre o diâmetro médio do halo de degradação e o diâmetro médio da colônia (MEDDEB-MOUELHI et al., 2014) (Figura 5).

O ensaio enzimático para degradação de lignina foi conduzido conforme Silva & Oliveira, (2004). Os fungos que apresentarem atividade positiva para celulase foram analisados no teste de degradação de lignina. Os fungos foram previamente crescidos em meios líquidos indutores com 4,5g farelo de trigo, 1,5g extrato de levedura, 1g glicose, 0,5g cloreto de amônia, 100 mL solução de sais (6g NaNO₃; 5g KCO; 1,5 g KH₂PO₄; 0,5 g MgSO₄.7H₂O; traços de ZnSO₄; traços de FeSO₄; 10g de dextrose; 15g de ágar; pH ajustado para 6,4) e acréscimo de 900 mL de água destilada. Os cultivos foram incubados durante 7 dias a 30 °C sem agitação e posteriormente foram filtrados e utilizados para determinação das atividades manganês peroxidase e lacase (enzimas degradativas da lignina).

Para manganês peroxidase foi medida a 610 nm ($^{TM}_{610} = 4460M^{-1} cm^{-1}$). A mistura reativa (1 mL) continha meio de cultivo (500 µL); vermelho de fenol (100 µL); lactato de sódio 250mM (100 µL); albumina bovina 0,5% (200 µL); sulfato de manganês 2mM (50 mL) e peróxido de hidrogênio 2mM (50 mL) preparado em tampão succinato de sódio 20mM, pH 4,0. As reações ocorreram a 30 °C, durante 5 minutos e foram interrompidas pela adição de NaOH 2N (40µL) (Figura 5).

A atividade da lacase foi realizada por espectrofotometria, com a oxidação da o-dianisidina a 525nm ($\epsilon_{525}^M = 65,000\text{M}^{-1}\text{cm}^{-1}$). A mistura reativa continha em 1 mL, tampão citrato-fosfato 0,5M pH 5,0 (200 μL); solução 1mM de o-dianisidina (100 μL), meio de cultivo (600 μL) e peróxido de hidrogênio 1mM (100 μL).

Para o cálculo das atividades lignolíticas utilizou-se a seguinte fórmula:

$$UI / L = \frac{\Delta Abs}{\epsilon \times R \times t} \times 10^6$$

Onde:

ΔAbs = absorbância (Abs final – Abs inicial)

ϵ = coeficiente de absorção molar

R = quantidade de solução da amostra

t = tempo de reação em minutos

UI/L = Unidade Internacional, onde internacional significa $\mu\text{mol min}^{-1}$

Coeficientes de absorção molar: $\epsilon_{460\text{nm}} = 29400\text{ L. M}^{-1}. \text{cm}^{-1}$ $\epsilon_{525\text{nm}} = 65000\text{ L.M}^{-1}.$

cm^{-1} $\epsilon_{610\text{nm}} = 44600\text{ L. M}^{-1}.\text{cm}^{-1}$

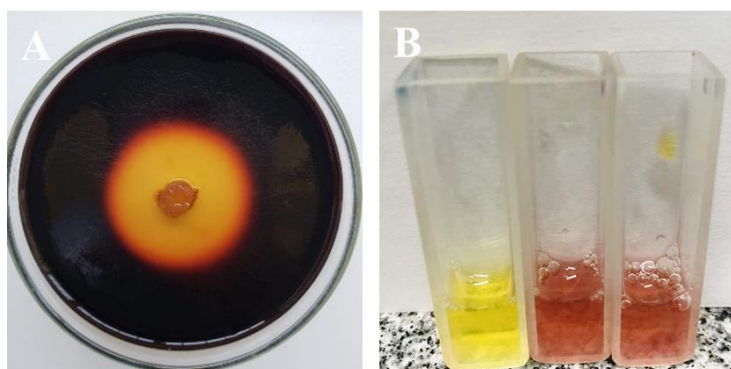


Figura 5. Atividade lignocelulolítica de fungos apodrecedores isolados de bambu *Guadua* sp.; **A.** Atividade celulolítica positiva com formação de halo de degradação em meio Ágar-carboximetilcelulose; **B.** Atividade lignolítica positiva para enzima Manganês Peroxidase (MnP) pela oxidação do vermelho de fenol.

Isolamento de fungos endofíticos de Guadua spp.

Para a realização do isolamento foram coletados seis varas de *Guadua* spp. sendo retirado três folhas e três colmos de cada para realização da desinfecção superficial. O processo de desinfecção foi realizado por lavagem em etanol por 1 min, lavagem em hipoclorito de sódio com 2,5 % de cloro ativo (v/v) por 2-4 min, lavagem em álcool 70% por 1 min e, duas lavagens em água destilada esterelizada e cortadas em segmentos de aproximadamente 5x5 mm (ARAÚJO et al., 2010). Após a desinfecção superficial, 5 fragmentos foram transferidos para placas contendo meio BDA suplementado com antibiótico cloranfenicol (100 mg.L⁻¹). Foram realizadas duas repetições para cada tecido vegetal e posteriormente as placas foram incubadas por até 30 dias à 28 ° C. A eficácia do processo de desinfecção superficial foi avaliada por meio da retirada de 200 µL da última água de lavagem em placas com meio BDA para controle da assepsia pela observação de desenvolvimento fúngico (ARAÚJO et al., 2010) (Figura 6)

As colônias fúngicas com características distintas de acordo com observações macroscópicas (coloração e características de crescimento em meio de cultura) foram purificadas utilizando a técnica de estrias de esgotamento em placas de Petri contendo o meio de cultura BDA, e incubadas por 48 h. Após, confirmada a pureza das colônias, os isolados foram inoculados em tubos contendo meio BDA inclinado (AZEVEDO; MELO, 1998), e realizada a preservação dos fungos em água destilada (CASTELLANI, 1963), óleo mineral (BUELL; WESTON, 1947) e glicerol (WOLFE; BRYANT, 2001) (Figura 6)

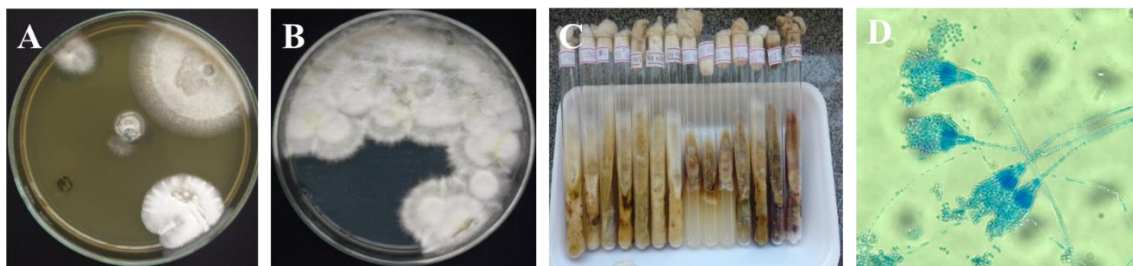


Figura 6. Isolamento e caracterização de fungos endofíticos de bambu *Guadua* spp.; **A.** Isolamento de fungos endofíticos de folha de *Guadua* spp. em meio BDA. **B.** Purificação; **C.** Carcaterização macromorfológica das colônias isoladas; **D.** Caracterização micromorfológica por meio da visualização de estruturas reprodutivas.

Caracterização morfológica

Para a caracterização macromorfológica, os fungos foram agrupados em morfoespécies de acordo com as características da colônia, como cor, textura e produção de pigmento. Após o agrupamento, um representante de cada morfoespécie foi utilizado para identificação micromorfológica. Para isso foi realizado o microcultivo, onde os fungos foram inoculados em cubos de 1 cm² de BDA e meio de Aveia e cobertos com lamínula, dentro de placas de Petri. As placas foram incubadas à temperatura ambiente por 14 dias para o crescimento micelial e posteriormente as lamínulas foram coradas com azul de lactofenol para visualização de estruturas reprodutivas em microscópio óptico (BARNETT; HUNTER, 1999; LACAZ et al., 1998) (Figura 6).

Extração de metabólitos de fungos endofíticos

Para obtenção dos metabólitos secundários de fungos endofíticos, um representante de cada morfoespécie foi inoculado em placa de Petri contendo meio de cultura BDA a 28 °C por 14 dias. Após este período, dez discos medindo 5 mm de cada fungo foram depositados em frascos Erlenmeyer contendo 20 mL de meio Batata-Dextrose (BD) e incubados a 28 °C sem agitação por 14 dias. Após incubação, foi realizada filtração, com a finalidade de separar o micélio do meio líquido contendo os metabólitos, e o filtrado foi extraído com 1 mL de acetato de etila por partição líquido-

líquido, por duas vezes. A fase orgânica foi coletada e seca a 37 °C por 24 h e após a completa evaporação foram adicionados 300 µL de dimetilsulfóxido (DMSO) (VITOLLO, 2015).

Ensaio de antagonismo e seleção de fungos endofíticos

Os metabólitos fungicos foram submetidos à técnica de *cup plate* para o ensaio de antagonismo frente aos fungos apodrecedores (GAVIN, 1957). Foi inoculado na região central de placas de Petri contendo meio BDA, o inóculo de 8 mm de fungos apodrecedores, com os maiores índices enzimáticos, e na periferia dessas placas foram feitas três perfurações formando poços circulares de 6 mm, aos quais foram adicionados 30 µL de extrato metabólito dos fungos endofíticos. As placas foram incubadas à 28 °C por 7 dias e posteriormente o crescimento fúngico foi avaliado por meio da mensuração do raio da colônia em milímetros. O controle negativo foi realizado com o inóculo do fungo apodrecedor na ausência do extrato. Todo o ensaio foi realizado em triplicata. Os três extratos que apresentaram melhores resultados de atividade antagônica foram selecionados para o crescimento em larga escala.

Produção dos extratos de fungos endofíticos em larga escala

Os extratos de fungos endofíticos que produziram maior inibição de crescimento fúngico dos fungos apodrecedores (ensaio de antagonismo), foram novamente cultivados para a produção do extrato em maior quantidade. Para tanto, cada fungo selecionado foi crescido em 6 litros de meio BD (Batata-Dextrose) com 10% de inóculo do volume total. Os fungos foram incubados a 28 °C por 14 dias. Após a incubação os extratos foram filtrados e extraídos com 200 mL de acetato de etila por partição líquido-líquido. A fase orgânica foi coletada após a completa evaporação do acetato de etila com auxílio do rotaevaporador. Após completa secagem, pesou-se a fase orgânica e acrescentou-se um

volume igual de dimetilsulfóxido (1:1) (VITOLLO, 2015) (Figura 7).



Figura 7. Produção em larga escala de extratos metabólitos de fungos endofíticos de bambu *Guadua* spp.; **A.** Crescimento dos fungos endofíticos em meio líquido BD por 14 dias; **B.** Filtragem dos extratos para separação do micélio fúngico; **C.** Partição líquido-líquido com acetato de etila; **D.** Extratos metabólitos na concentração 1:1.

Ensaio de Concentração Inibitória Mínima (CIM)

Para determinação da concentração inibitória mínima (CIM) dos extratos contra os fungos apodrecedores estes foram testados em seis concentrações (1000; 500; 250; 125; 62,5 e 32,25 mg.ml⁻¹). Para isso, os três fungos apodrecedores com maiores índices enzimáticos foram previamente crescidos em meio BDA a 28 °C por 7 dias. Posteriormente, retirou um disco fúngico de 5 mm, os quais foram inoculados na região central em placas de Petri contendo meio BDA. Foram perfurados seis poços de 6 mm equidistantes do inóculo central para inoculação de 30 µL de extrato nas concentrações pré-estabelecidas. O ensaio foi realizado em duplicata e as placas foram incubadas a 28 °C por sete dias. A avaliação do teste consistiu na mensuração, em milímetros, do raio de crescimento da colônia do fungo apodrecedor (ANDREWS, 2001).

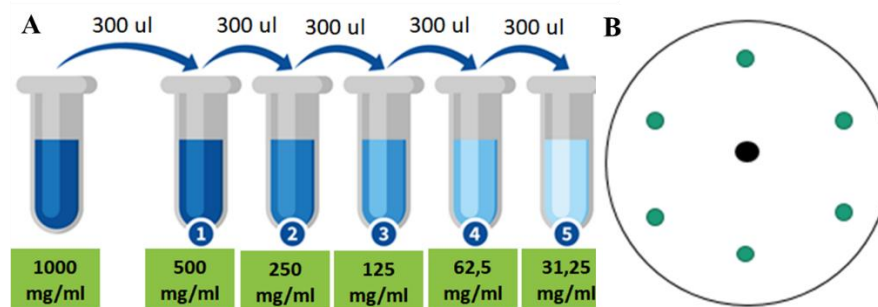


Figura 8. Esquema do ensaio de Concentração Inibitória Mínima (CIM); **A.** Diluição seriada dos extratos metabólicos em seis concentrações distintas; **B.** Ensaio de CIM com inoculação do fungo apodrecedor na região central da placa e nas periferias poços de inoculação para os extratos nas diferentes concentrações.

Identificação molecular de fungos apodrecedores e fungos endofíticos de Guadua spp.

Os três fungos apodrecedores com maiores resultados para atividade lignocelulolítica bem como os dois fungos endofíticos com os melhores resultados no teste de antagonismo, foram submetidas à extração de ácido desoxirribonucleico (DNA) utilizando o kit comercial Fungal/Bacterial Miniprep – Zymo Research (SOUZA et al., 2017). Os produtos obtidos na extração foram analisados por eletroforese em gel de agarose a 1,5%, para confirmação da extração do DNA. Para amplificação foi utilizada a técnica de PCR (Polymerase Chain Reaction) com os primers ITS-1 e 4, denominados (5' TCCGTAGGTGAACCTGCGG') e (5' TCCTCCGCTTATTGATATGC') respectivamente, específicos para a região fúngica universal rRNA ITS1-5.8S-ITS2 (White, A amplificação foi realizada em um termociclador com a seguinte programação: 94 °C por 2 min, 35 ciclos a 94 °C por 20 s, 57 °C por 30 s, 72 °C por 2 min, seguido por uma etapa de extensão de 10 min a 72 °C.

Análise filogenética

As sequências de DNA obtidas foram analisadas e editadas no Bioedit 7.0.9.1, depositadas nas bases de dados do GenBank, com auxílio do software MEGA 6.0. As análises filogenéticas também foram construídas usando o software MEGA 6.0 com um

alinhamento das sequências preparadas usando o software MUSCLE (TAMURA et al., 2007).

Análise estatística

Foi analisada a diversidade de fungos endofíticos pelo índice de Shannon-Wiener (H') utilizando a fórmula: $H' = \sum p_i(\log p_i)$. Na qual: $p_i = n_i/N$; N = número total de indivíduos amostrados; n_i = número de indivíduos amostrados do grupo taxonômico i ; \ln = logaritmo neperiano (SHANNON; WEAVER, 1949). Para o cálculo de dominância de espécies, o índice de Simpson (D) foi utilizado, sendo obtido pela fórmula $D = \sum (n/N)^2$, onde n é o número total de organismos de uma mesma espécie e N o número total de organismos de todas as espécies (BROWER; ZARR, 1984). Todos os índices foram calculados utilizando o programa computacional PAST 1.90 (HAMMER et al., 2001).

Os valores médios do ensaio de antagonismo foram analisados estatisticamente conforme a normalidade. Foi utilizada a análise de variância (ANOVA) seguida pelo teste de Tukey para dados paramétricos para a comparação entre as médias multivariadas, com auxílio do programa BioEstat 5.3®. Para confecção de gráficos e figuras foi utilizado o programa GraphPad Prism 5.0.

Resultados

Isolamento de fungos apodrecedores de Guadua spp.

Foram isolados um total de 123 fungos apodrecedores de seis amostras de colmo de bambu, sendo 34 isolados utilizando a técnica 1, de fragmentação de Araújo et al. (2010) e 89 utilizando a técnica 2, de esporulação de Shearer et al., (2004). Após a caracterização morfológica, os fungos isolados por meio de ambas técnicas foram agrupados em 41 morfoespécies. A partir dessa classificação, foram identificados oito

gêneros fúngicos, sendo *Acremonium* (14,6%), *Fusarium* (12,2%) (com maior número de morfoespécies), *Absidia* (8,9%), *Trichoderma* (5,7%), *Cylindrocladium* (2,4%), *Botrytis* (0,8%), *Penicillium* (0,8%) e *Aspergillus* (0,8%) (Figura 4). Os fungos que não possuíram estrutura reprodutiva foram classificados como micélio estéril, totalizando 53,8 %. De 41 morfoespécies, apenas sete cresceram nas duas técnicas de isolamento utilizadas, sendo NI sp. 1, NI sp. 5, NI sp. 8, *Acremonium* sp. 2, *Fusarium* sp. 1, *Fusarium* sp. 2 e *Trichoderma* sp. 1 (Figura 4).

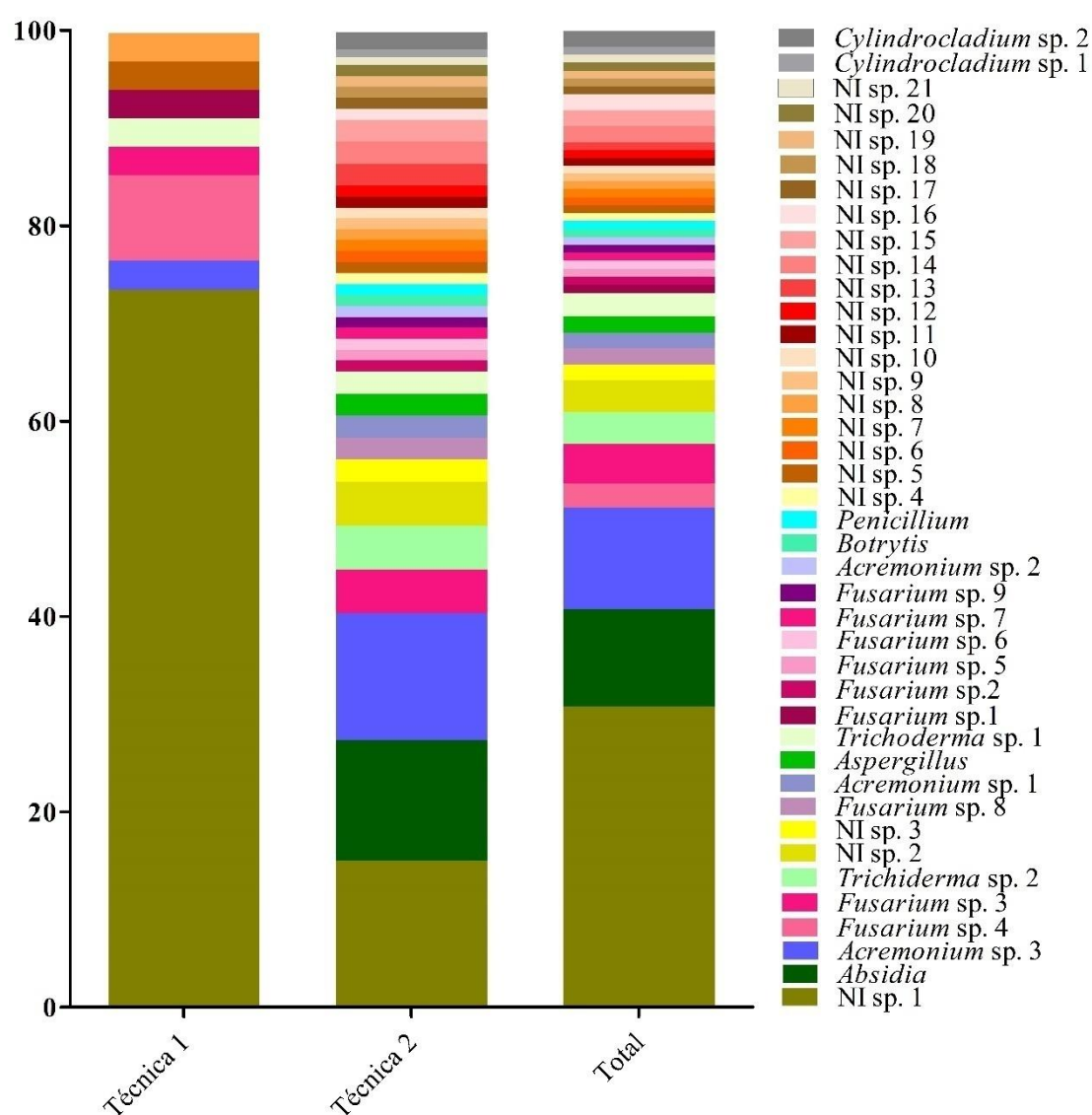


Figura 9. Frequência de fungos apodrecedores isolados de *Guadua* spp. de acordo com a técnica de isolamento utilizada.

Ensaio enzimático para degradação de celulose e lignina de fungos apodrecedores de Guadua spp.

Dos 41 fungos analisados, 25 morfoespécies formaram halo de degradação demonstrando atividade celulolítica (Tabela 2). Entre os maiores produtores de celulase, se destacaram o fungo NI sp. 20 (7.34) e *Cylindrocladium* sp. 2 (7.20) (Tabela 2). As morfoespécies com atividade celulolítica foram avaliadas quanto à produção de enzimas lignolíticas. Todos os fungos testados demonstraram produção de lacase e manganês peroxidase. Para lacase os valores variaram de 0,09 a 5,00 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$, sendo o fungo NI sp. 15 (7.48) o maior produtor. Para manganês peroxidase os valores variaram de 0,015 a 8,94 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$, sendo *Trichoderma* sp. 1 o maior produtor. Na seleção dos fungos apodrecedores para o teste frente aos extratos metabólitos de fungos endofíticos, foram selecionados os três fungos com maiores valores para as três enzimas analisadas, sendo estes os fungos *Fusarium chlamydosporum* (7.3), *Fusarium oxysporum* (7.21) e NI sp. 3 (7.25). É importante ressaltar que os demais fungos em marcação verde são potenciais produtores de enzimas lignocelulolíticas, podendo ser avaliados em posteriores estudos (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de enzimas lignocelulolíticas por fungos apodrecedores de *Guadua* spp.

Identificação	Atividade enzimática		
	Celulase (IE)	Lacase ($\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$)	Manganês peroxidase ($\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$)
* <i>F. chlamydosporum</i>	3,0 ± 0,4	2,48 ± 0,01	2,57 ± 0,20
* <i>F. oxysporum</i>	2,5 ± 0,4	2,92 ± 0,29	8,56 ± 0,24
<i>Fusarium</i> sp. 2	3,3 ± 0,7	0,8 ± 0,4	3,78 ± 0,02
<i>Fusarium</i> sp. 4	3,3 ± 0,6	1,09 ± 0,03	7,05 ± 0,11
<i>Fusarium</i> sp. 5	2,1 ± 0,4	0,99 ± 0,24	6,03 ± 0,25
<i>Fusarium</i> sp. 6	1,9 ± 0,4	0,79 ± 0,05	7,49 ± 0,95
<i>Fusarium</i> sp. 7	2,5 ± 0,1	1,33 ± 0,33	2,47 ± 0,06
<i>Acremonium</i> sp. 1	3,0 ± 0,5	2,38 ± 0,04	2,44 ± 0,04
<i>Acremonium</i> sp. 2	2,4 ± 0,1	2,03 ± 0,03	8,38 ± 0,70
<i>Cylindrocladium</i> sp. 1	2,0 ± 0,4	0,15 ± 0,03	2,29 ± 1,05
<i>Cylindrocladium</i> sp. 2	3,5 ± 0,6	1,09 ± 0,24	6,44 ± 0,21
<i>Trichoderma</i> sp. 1	2,2 ± 0,4	2,53 ± 0,12	8,94 ± 0,94
<i>Botrytis</i>	2,4 ± 0,3	0,84 ± 0,02	1,98 ± 0,18
NI sp. 2 (7.72)	2,5 ± 0,9	1,79 ± 0,07	3,01 ± 0,08
*NI sp. 3 (7.25)	2,8 ± 0,7	3,12 ± 0,04	5,33 ± 0,11
NI sp. 4 (7.61)	2,3 ± 0,5	0,60 ± 0,02	5,17 ± 0, 21
NI sp. 7 (7.58)	2,7 ± 0,2	1,01 ± 0,02	1,75 ± 1,06
NI sp. 11 (7.36)	2,7 ± 0,2	2,29 ± 0,37	3,38 ± 0,04
NI sp. 12 (7.5)	3,3 ± 0,3	1,34 ± 0,1	0,15 ± 0,15
NI sp. 13 (7.22)	2,9 ± 1,1	1,37 ± 0,05	2,31 ± 0,34
NI sp. 14 (7.12)	2,4 ± 0,4	0,66 ± 0,66	4,28 ± 0,21
NI sp. 15 (7.48)	1,8 ± 0,2	5,00 ± 0,00	1,95 ± 0,38
NI sp. 16 (7.49)	1,8 ± 0,7	0,83 ± 0,01	6,27 ± 0,17
NI sp. 18 (7.19)	1,9 ± 0,3	2,33 ± 0,02	5,30 ± 0,04
NI sp. 20 (7.34)	4,2 ± 0,1	0,09 ± 0,03	3,90 ± 0,36

Fungos selecionados*; IE: Índice enzimático; NI: Não identificado. Coloração verde para valores considerados bons (Celulase: IE > ou = 3; Lacase: > ou = 2 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$; Manganês peroxidase: > ou = 5 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$). Coloração vermelha para valores considerados ruins (abaixo dos valores mencionados).

Isolamento de fungos endofíticos de *Guadua* spp.

Foram isolados um total de 166 fungos endofíticos de *Guadua* spp., sendo agrupados de acordo com a caracterização morfológica em 42 morfoespécies. 9 foram observados nos dois tecidos vegetais utilizados para isolamento de *Guadua* spp., enquanto 21 foram específicos para folhas e 12 para colmos (Figura 5). Entre os isolados, o gênero *Fusarium* foi a morfoespécie mais frequente com (21,1%), seguido de *Xylaria* (13,3%), *Cladosporium* (9,6%), *Botrytis* (4,8%) *Colletotrichum* (5,4%), *Penicillium* (5,4%), *Aspergillus* (2,4%), *Verticillium* (0,6%), *Graphium* (0,6%), *Hypoxyton* (0,6%) e não

identificados (36,2%). Além disso, a diversidade e dominância de espécies de fungos endofíticos de *Guadua* spp. foi avaliada pelo índice de Shannon e Simpson, respectivamente, demonstrando maior diversidade (3,05) e maior dominância de espécies (0,93) em folhas (Tabela 3).

Tabela 3. Índices de diversidade para fungos endofíticos isolados de folhas e colmos de *Guadua* spp.

Tecido	Abundância	Riqueza	Shannon	Simpson
Folha	100	30	3,05	0,93
Colmo	66	21	2,30	0,83

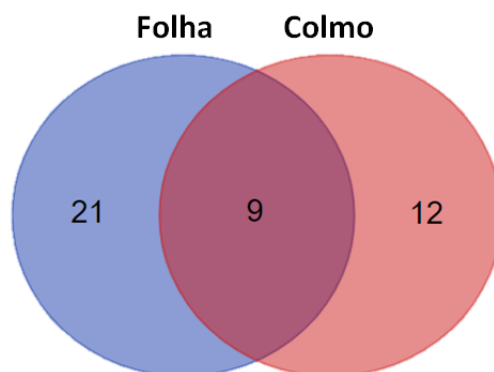


Figura 10. Diagrama de Venn mostrando as morfoespécies de fungos endofíticos isolados de folha e colmo de *Guadua* spp.

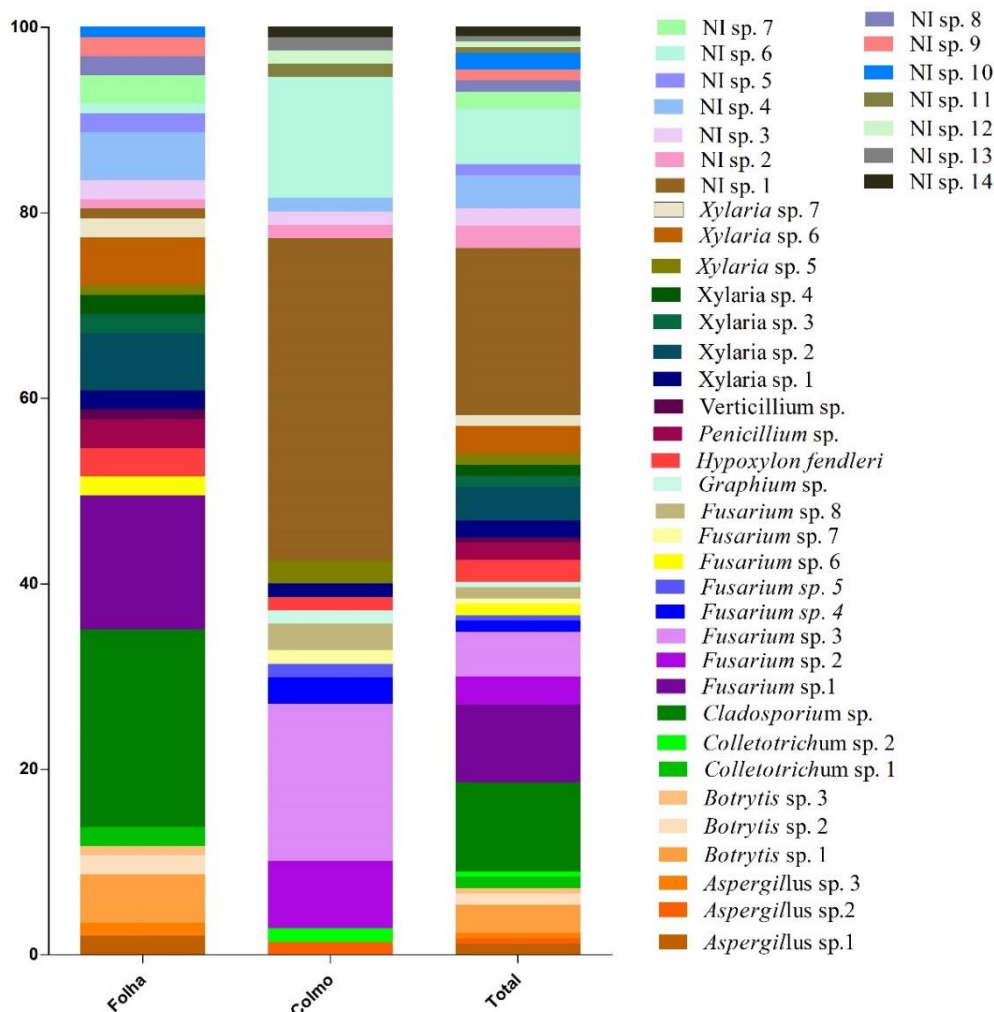


Figura 11. Frequência de fungos endofíticos isolados de *Guadua* spp. de acordo com o tecido vegetal.

Teste de antagonismo de extratos de fungos endofíticos de Guadua spp. contra fungos apodrecedores

Dentre os 42 extratos fúngicos testados contra os fungos apodrecedores *Fusarium chlamydosporum* (7.3), *Fusarium oxysporum* (7.21) e NI sp. 3 (7.25), 13 extratos diferiram estatisticamente do controle, apresentando redução do crescimento micelial para pelo menos um fungo apodrecedor testado. Entre os fungos endofíticos que promoveram atividade antagonica estão os gêneros *Xylaria*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Graphium* e fungos sem identificação (Tabela 4). Os endófitos que apresentaram maior

espectro de ação foram *Hypoxylon fendleri* (2. 5702), NI sp. 20 (2.5767), *Fusarium* sp. 12 (2. 5841) e *Aspergillus* sp. 2 (2.5793) (Tabela 4). Entre os fungos analisados, foram selecionados dois fungos endofíticos com maior atividade antagônica para produção em larga escala e ensaio de CIM, sendo estes os fungos *H. fendleri* (2. 5702), NI sp. 20 (2.5767) (Tabela 4).

Tabela 4. Média de crescimento em milímetros de fungos apodrecedores de *Guadua* spp. frente aos extratos de fungos endofíticos de *Guadua* spp.

Extratos	Identificação	Fungos apodrecedores		
		<i>Fusarium chlamydosporum</i>	NI sp. 3	<i>Fusarium oxysporum</i>
Controle	Dimetilsulfóxido	41.3 ± 0.7 a	29.3 ± 0.4 a	44.3 ± 0.9 a
2. 5676	NI sp. 3	40,6 ± 0.47 a	12.3 ± 0.4 b	41.3 ± 0.9 a
2. 5720	NI sp. 5	30 ± 0 b	28.3 ± 1.6 a	42.6 ± 1.6 a
2. 5760	NI sp. 9	40,6 ± 0.4 a	21.6 ± 2.3 b	43.3 ± 2.3 a
2. 5780	NI sp. 13	39.3 ± 0.9 b	28.6 ± 1.8 a	44 ± 1.4 a
* <i>Hypoxylon fendleri</i>	NI sp. 15	20.3 ± 0.9 b	20 ± 0 b	43 ± 1.4 a
2. 5681	NI sp. 16	41 ± 1.4 a	12.6 ± 0.4 b	41 ± 2.8 a
*2. 5767	NI sp. 20	40 ± 0 a	21.6 ± 0.9 b	36 ± 0.8 b
2. 5827	NI sp. 21	40 ± 0 a	20 ± 0 b	40. 6 ± 0.4 a
2. 5694	<i>Xylaria</i> sp. 1	41 ± 0 a	23 ± 0.8 b	41.6 ± 2.3 a
2. 5839	<i>Xylaria</i> sp. 6	41 ± 1.4 a	19.3 ± 0.4 b	41.6 ± 2.3 a
2. 5841	<i>Fusarium</i> sp. 12	37 ± 0 b	22.3 ± 1.2 b	40.3 ± 0.4 a
2. 5793	<i>Aspergillus</i> sp. 2	40 ± 0 a	25 ± 0 b	38.3 ± 2.3 b
2.5830	<i>Graphium</i> sp.	40.3 ± 0.4 a	23.6 ± 0.4 b	41 ± 0.8 a

*Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem entre si em nível de 1% de significância ($p \geq 0,01$). Coloração verde para valores que diferiram do controle; Coloração vermelha para valores que não diferiram do controle.

Identificação molecular e ensaio de concentração inibitória mínima (CIM)

Com base no gene ITS rDNA, três dos cinco fungos presentes no teste de CIM foram identificados a nível de espécie, sendo dois fungos apodrecedores *Fusarium chlamydosporum* (7.3) *Fusarium oxysporum* (7.21) e um fungo endofítico *Hypoxylon fendleri* (2.5702). O primer ITS não amplificou os demais fungos, fazendo-se necessário novas análises para posterior identificação destes. As sequências foram depositadas no Genbank e gerado números de acesso, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5. Identificação molecular de fungos apodrecedores e endofíticos de *Guadua* spp.

Nº do fungo	Espécie mais próxima no GenBank	Porcentagem de identidade (%)
7.03	<i>Fusarium chlamydosporum</i> (MT032393)	99,01
7.21	<i>Fusarium oxysporum</i> (MN929041)	99,59
2.5702	<i>Hypoxyton fendleri</i> (MN056423)	95,31

Os resultados demonstraram maior sensibilidade dos fungos apodrecedores frente ao extrato *Hypoxyton fendleri* (2. 5702), a qual apresentou redução do crescimento da colônia fúngica em todas as concentrações testadas. No entanto, o extrato do fungo NI sp. 20 (2.5767), frente ao fungo apodrecedor *Fusarium oxysporum* (7.21) foi sensível até a concentração de 250 mg.ml⁻¹, para NI sp. 3 (7.25) o crescimento foi inibido até a concentração 32,25 mg.ml⁻¹ e para ao fungo *Fusarium chlamydosporum* (7.3) não causou nenhum efeito sobre seu crescimento (Tabela 6).

Tabela 6. Média de crescimento em milímetros de fungos apodrecedores de *Guadua* spp. frente aos extratos metabólitos dos fungos *H. fendleri* (2. 5702) e NI sp. 20 (2.5767), nas concentrações de 1000, 500, 250, 125 62,5 e 31,25 mg.ml⁻¹.

Extrato	FA	Concentração do extrato (mg.ml ⁻¹)						
		1000	500	250	125	62,5	31,25	Controle
<i>H. fendleri</i>	<i>Fc</i>	21 ± 1	21 ± 1	14,5 ± 2,5	15 ± 0	19 ± 2	24 ± 2	20,7 ± 3
	<i>Fo</i>	14,5 ± 1,5	18,5 ± 1,5	22,5 ± 2,5	24,5 ± 1,5	28,5 ± 0,5	24 ± 1	40,7 ± 1,9
	7.25	14,5 ± 0,5	15,5 ± 1,5	16,5 ± 0,5	16,5 ± 0,5	19 ± 1	19 ± 2	33,1 ± 1,3
2.5767	<i>Fc</i>	29 ± 3	23,5 ± 3,5	24,5 ± 0,5	30,5 ± 5,5	42 ± 2	40,5 ± 0,5	20,7 ± 3
	<i>Fo</i>	36 ± 1	35 ± 1,5	38 ± 2	40,5 ± 2,5	42 ± 2	40,5 ± 0,5	40,7 ± 1,9
	7.25	23 ± 1	21 ± 1	21 ± 1	26 ± 0	31,5 ± 3	28,5 ± 0,5	33,1 ± 1,3

FA: Fungo apodrecedor; *Fc*: *Fusarium chlamydosporum*; *Fo*: *Fusarium oxysporum*; 7.25: NI sp.

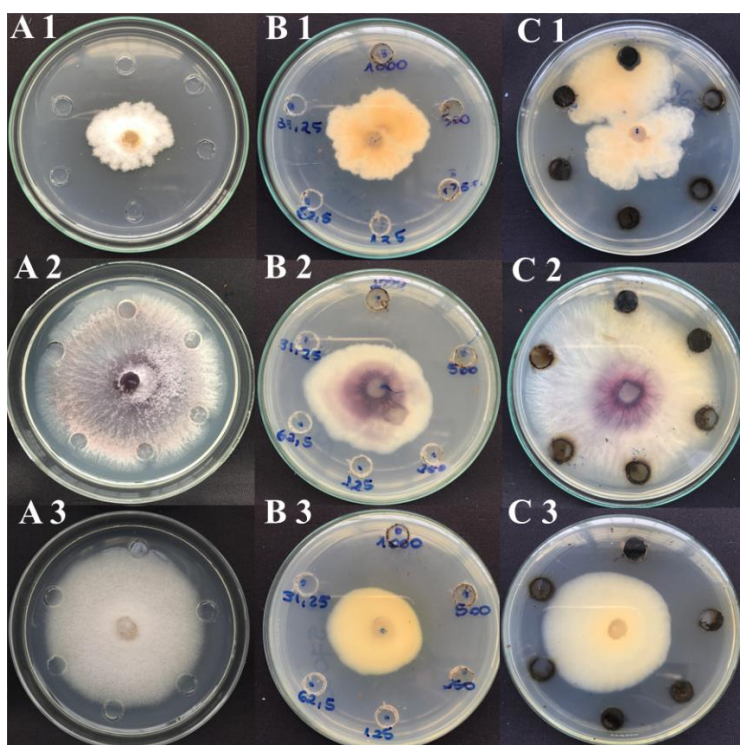


Figura 12. Ensaio de Concentração Inibitória Mínima; **A1, A2 e A3.** Placas controle para os fungos apodrecedores *F. chlamydosporum*, *F. oxysporum* e 7.25 respectivamente; **B1, B2 e B3.** Fungos apodrecedores *F. chlamydosporum*, *F. oxysporum* e 7.25 respectivamente, frente ao extrato de *H. fendleri* 5702; **C1, C2 e C3.** Fungos apodrecedores *F. chlamydosporum*, *F. oxysporum* e 7.25 respectivamente frente ao extrato 2.5767.

Discussão

No presente estudo, foi observada uma variedade de gêneros envolvidos na deterioração do colmo de bambu, sendo eles *Acremonium*, *Absidia*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Cylindrocladium*, *Botrytis*, *Penicillium* e *Aspergillus*. A técnica 2 de isolamento proporcionou uma maior quantidade de isolados e variedades de morfoespécies, tal fato está relacionado à contaminação por bactérias na técnica 1, a qual limitou o crescimento de alguns fungos.

Na literatura existem relatos comprovando a existência de alguns desses gêneros fúngicos associados à degradação do colmo. Em estudo envolvendo produtos de bambu, 56 espécies de fungos foram identificadas, sendo os mais frequentes *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria* e *Botryodiplodia* (MA et al., 2009).

Trichoderma, *Aspergillus* e *Penicillium* são considerados fungos manchadores e emboloradores podendo atuar de forma superficial ou profunda no colmo. Esses fungos atuam logo após a derrubada da árvore, e perdura até a secagem, podendo afetar a parede celular, em estágios avançados, desencadeando podridão mole (ZIGLIO et al., 2010). Apesar de seus esporos atuarem na superfície, o corpo micelial penetra no colmo, sendo resistentes a vários tipos de preservativos de madeira (REMADE, 2013).

Em relação aos gêneros *Acremonium* e *Fusarium* foram relatados na literatura associados como pragas de bambu. Normalmente fungos destes gêneros atuam ainda em campo, onde causam a morte prematura das bainhas dos colmos e colapso das regiões apicais (MOHANAN, 2002). Além disso, podem causar manchas necróticas nos entrenós, se espalhando gradualmente por toda planta (MOHANAN, 2002).

Fusarium chlamydosporum e *F. oxysporum* foram as duas espécies de fungos apodrecedores identificadas. Estudos similares realizados com isolamento de fungos emboloradores de espécies florestais também relataram a presença de espécies de *Fusarium* como *F. oxysporum* e *F. solani* (CAMPOS et al., 2013; LAZAROTTO et al., 2016). Tal fato está relacionado com a presença de micotoxinas desse gênero, como fumonisinas e tricotecenos, responsáveis por pelo menos 20 doenças diferentes, relatados em mais de 120 espécies vegetais (LAZAROTTO et al., 2016).

Em relação ao *Cylindrocladium*, *Absidia* e *Botrytis* não há relatos de apodrecimento sobre o colmo de bambu, entretanto são fungos saprófitos comumente encontrados no meio ambiente podendo se associar ao decaimento de materiais biológicos como o bambu (BORGES et al., 2011).

25 morfoespécies demonstraram produção de celulases e lignases, sendo estes fungos do gênero *Cylindrocladium*, *Fusarium*, *Acremonium*, *Botrytis* e *Trichoderma*. Na literatura, grande parte dos trabalhos tem demonstrado atividade lignocelulolítica *in vitro*,

em fungos de podridão branca, como *Pleurotus ostreatus* (ERGUN; UREK, 2017), *Trametes trogii* (LEVIN et al., 2008), *Sporotrichum pulverulentum* e *Bjerkandera adusta* (TIRADO-GONZÁLEZ et al., 2016). Fungos de podridão parda como *Postia placenta* e *Coniophora puteana* (ZHANG et al., 2016; BRISCHKE; MEYER-VELTRUP, 2016) e fungos de podridão mole, como *Fusarium oxysporum* (ALI et al., 2016), e *Trichoderma reesei*, sendo considerado como “rei das celulases” por Gusakov (2011), e o preferido na escolha para produção em larga escala de celulases (PANCHAPAKESAN; SHANKAR, 2016).

Neste trabalho, foi evidenciado a produção de lacase e manganês peroxidase por fungos apodrecedores de *Guadua* spp., enzimas comumente relatadas na literatura envolvidas na degradação da molécula de lignina e em várias aplicações biotecnológicas (UPADHYAY et al., 2016). Embora essas enzimas sejam, em sua maioria, relatadas em basidiomicetos, os ascomicetos também são capazes de produzi-las.

Em ascomicetos isolados do solo, dos gêneros *Aspergillus*, *Curvularia* e *Penicillium* também foi possível detectar a produção de lacase (BANERJEE; VOHRA, 1991; RODRIGUEZ, 1996; SCHERER; FISCHER, 1998), bem como cepas de *Trichoderma* exibindo um nível de produção considerável desta enzima (HÖLKER, 2002).

Neste trabalho a produção de lacase variou entre 0,09 a 5,00 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$. Em estudo envolvendo produção de enzimas lignolíticas de basidiomicetos, foi observado produção de lacase inferior, variando de 0,299 a 0,699 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$ (SILVA et al., 2004), todavia em outro estudo também utilizando basidiomicetos houve variação de 2,55 a 5,53 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$ (ARORA et al., 2002). Com *Fusarium solani*, um ascomiceto, foi obtido uma atividade máxima de lacase de 159,78 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$ (WU; NIAN, 2014).

A variação na produção de lacase pode ocorrer por diversos fatores como,

composição nutricional do meio, tempo de cultivo, pH, relação Carbono/Nitrogenio, temperatura, aeração entre outros (FORTINA et al., 1996; COUTO et al., 2002). Em geral, a principal fonte produtora de lacase ainda são os fungos, possuindo importante funções biológicas sobre seu crescimento celular, esporulação e absorção de nutrientes (ASSAVANIG, 1992; HÖLKER, 2002).

Da mesma forma, os fungos demonstraram a presença de manganês peroxidase com maiores valores, quando comparados à produção de lacase. Houve variação entre 0,015 a 8,94 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$. Na literatura a produção de MnP é em sua maioria relatada em basidiomicetos, todavia em estudo com as espécies de ascomicetos *Coniochaeta ligniaria* (5,8 a 111,5 $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$), *Phialophora decumbens* (101,1 $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$) e *Phialophora fasciculatus* (44,5 $\text{U}\cdot\text{mL}^{-1}$) sendo verificado altas concentrações da enzima (LOPEZ et al., 2007). As MnPs são importantes para o complexo de degradação da lignina, visto que as LiPs degradam estruturas não-fenólicas muitas vezes de maneira ineficiente. Assim, as MnPs produzem oxidantes fortes conseguindo penetrar no substrato (HAMMEL; CULLEN, 2008).

Neste trabalho, *Trichoderma* sp.1 destacou-se por se o maior produtor de MnP com 8,94 $\mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$. Apesar do fungo *Trichoderma* não estar inserido no filo Basidiomycota, a qual pertence os maiores produtores de enzimas lignocelulolíticas, inúmeros trabalhos na literatura têm relacionado este gênero a degradação de compostos recalcitrantes como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) de alto e baixo peso molecular (SOWMYA et al., 2014; ZAFRA; CORTÉS-ESPINOSA, 2015; HE et al., 2018). Estes por sua vez, são degradados por meio de sistemas enzimáticos secretados como lacases e as peroxidases (ZAFRA; CORTÉS-ESPINOSA, 2015). Tais enzimas são de grande valia quando se pensa na degradação de poluentes e compostos xenobióticos, sendo um gênero fúngico com importantes aplicações biotecnológicas (SINGH; SINGH,

2012b).

Portanto, as enzimas lignocelulolíticas são consideradas por muitos pesquisadores as mais importantes no meio ambiente, principalmente pela degradação de resíduos ambientais. Embora esses fungos atuem como agentes biodeterioradores, essas enzimas proporcionam produtos de interesse industrial, principalmente na indústria energética, têxtil e papel (PANCHAPAKESAN; SHANKAR, 2016). Do mesmo modo, tem sido aplicada na biorremediação devido ao potencial de conversão de resíduos lignocelulósicos, aos quais bilhões de toneladas são descartados anualmente (BAYER et al., 2007).

Em relação ao isolamento de fungos endofíticos do bambu *Guadua* spp., foi verificada uma maior variedade de gêneros no tecido da folha. A literatura relata que devido anatomia da foliar (presença de estômatos e hidatódios) há maior favorecimento a entrada dos esporos fúngicos (SAIKKONEN et al., 2004)

Foi observado a presença dos gêneros *Fusarium*, *Xylaria*, *Cladosporium*, *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Verticillium*, *Graphium* e *Hypoxylon*. Em bambus da espécie *Phyllostachys edulis* foram relatados 69 morfoespécies de fungos endofíticos (de acordo com características cultiváveis e a identificação molecular baseada na região ITS). Nesta espécie de bambu também foram encontrados os gêneros *Fusarium*, *Colletotrichum*, *Xylaria* e espécies relatadas pela primeira vez em bambus, incluindo *Leptosphaerulina*, *Simplicillium* e *Sebacina* (SHEN et al., 2014). Em contraste, outra espécie de bambu, *P. heteroclada*, foram isolados 127 fungos e agrupados em 50 morfoespécies, tendo como os principais gêneros *Arthrimum*, *Pestalotiopsis*, *Nigrospora*, *Epicoccum* e *Cladosporium* (ZHOU et al., 2017).

No presente trabalho, os extratos de fungos endofíticos de *Guadua* spp. apresentaram atividade antagônica frente aos fungos apodrecedores, destacando-se os

extratos de *Xylaria*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Graphium* e oito fungos sem identificação. Tal fato está diretamente relacionado com os compostos ativos que normalmente estão envolvidos na proteção da planta contra fitopatógenos e pragas na natureza, demonstrando assim o potencial do extrato metabólito para o biocontrole (DE SILVA et al., 2019).

Neste estudo o extrato do fungo *Hypoxylon fendleri* apresentou resultado significativo em relação aos demais. Este fungo também foi relatado como endófito colonizando tecidos da espécie florestal *Pinnus tabulaeformis* (GUO et al., 2003). É pertencente a família Xylariaceae a qual produz inúmeros metabólitos secundários como: três terfenilquinonas (fendlerilos A e C), um terfenil (fendleril D), seis derivados de lactona/isoindolinonas do tipo drimane e ftalida, 2-O-metilatromentina, rickenil E, atromentina, rickenyl C e D, (p) -ramulosina e ácido O-hidroxifenilacético (INTARAUDOM et al., 2019). Além disso, estes compostos isolados tiveram sua eficácia comprovada para atividade antimicrobiana contra *Candida albicans* e *Bacillus cereus* (INTARAUDOM et al., 2019).

Em estudo avaliando-se o extrato do fungo endofítico da espécie *Phaeothecha dimorphospora* (isolada de ulmeiro) para proteger os painéis à base de madeira contra a infecção de fungos apodrecedores, Yang et al. (2007) observaram que os metabólitos deste fungo foram capazes de inibir (*in vitro*) o crescimento de oito linhagens fúngicas apodrecedoras relacionados a podridão branca e podridão parda, além disso reduziu significativamente o crescimento desses fungos em painéis OSB tratados com extrato.

Portanto nota-se que há enorme potencial nos metabólitos secundários de fungos endofíticos para serem empregados no desenvolvimento de tecnologias de proteção do bambu, baseando-se em seus compostos naturais. Assim novas oportunidades seriam geradas com o desenvolvimento de sistemas protetivos mais sustentáveis e eficientes. No entanto, estudos futuros são necessários para entender como esses metabólitos irão

proteger o material no meio ambiente, para que futuramente essas substâncias possam vir a ser uma tecnologia competitiva frente aos produtos existente no mercado.

Conclusões

Bambu do gênero *Guadua* spp. apresentou deterioração por fungos apodrecedores, sendo *Fusarium* o fungo com maior número de morfoespécies identificadas.

25 morfoespécies de fungos apodrecedores demonstraram atividade lignocelulolítica, onde *Fusarium chlamydosporum*, *Fusarium oxysporum* e NI sp. 3 (7.25) apresentaram as maiores atividades para celulase, lacase e manganês peroxidase.

O bambu *Guadua* spp. é colonizado por fungos endofíticos a qual o gênero *Fusarium*, apresentou o maior número de morfoespécies.

Extratos de fungos endofíticos de *Guadua* spp. foram antagonistas a fungos apodrecedores. Os extratos de *Hypoxyton fendleri* (2. 5702) e NI sp. 20 (2.5767) apresentando potencial para o tratamento preservativo de colmos de bambu.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. **Métodos em fitopatologia**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 382 p.
- ALI, S. S.; NUGENT, B.; MULLINS, E.; DOOHAN, F. M. Fungal-mediated consolidated bioprocessing: the potential of *Fusarium oxysporum* for the lignocellulosic ethanol industry. **AMB Express**, v. 6, n. 1, p. 13, 2016.
- ANDREWS, J. M. Determination of minimum inhibitory concentrations. **Journal of antimicrobial Chemotherapy**, v. 48, n. 1, p. 5-16, 2001.
- ARAÚJO, W. L.; LACAVA, P. T.; MARCO, J.; LIMA, A. O. D. S.; SOBRAL, J. K.; AZEVEDO, J. L. D.; PIZZIRANI-KLEINER, A. A. **Guia prático: Isolamento e caracterização de microrganismos endofíticos**. Piracicaba: Copiadora "Luiz de Queiroz", 2010, 167 p.
- ARORA, D. S.; CHANDER, M.; GILL, P. K. Involvement of lignin peroxidase, manganese peroxidase and laccase in degradation and selective ligninolysis of wheat straw. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 50, n. 2, p. 115-120, 2002.
- ASSAVANIG, A.; AMORNIKITTICHAROEN, B.; EKPAISAL, N.; MEEVOOTISOM, V.; FLEGEL, T. W. Isolation, characterization and function of laccase from *Trichoderma*. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 38, n. 2, p. 198-202, 1992.
- AWOYERA, P. O.; UGWU, E. I. Sustainability and Recycling of Bamboo for Engineering Applications. In: LAUTER, V.; LAUTER, H.; GLAVIC, A.; TOPERVERG, B. **Reference module in materials science and materials engineering**. Amsterdã: Elsevier, 2016, 13 p.
- AZEVEDO, J. L.; MELO, I. S. Microrganismos endofíticos. In: MELO I. S; AZEVEDO J. L. **Ecologia microbiana**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1998, 117-137 p.
- BANERJEE, U. C.; VOHRA, R. M. Production of laccase by *Curvularia* sp. **Folia Microbiologica**, v. 36, n. 4, p. 343-346, 1991.
- BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. Illustrated genera of imperfect fungi (p. 218). St. Paul: APS, 1999, 218p.
- BAYER, E. A.; LAMED, R.; HIMMEL, M. E. The potential of cellulases and cellulosomes for cellulosic waste management. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 18, n. 3, p. 237-245, 2007.
- BORGES, L. R.; LAZZARI, S. M. N.; PIMENTEL, I. C.; NOVA, M. X. V. Diversidade de fungos filamentosos em solo de monocultivo de erva-mate, *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 9, n. 2, p. 185-194, 2011.
- BRISCHKE, C.; MEYER-VELTRUP, L. Modelling timber decay caused by brown rot fungi. **Materials and Structures**, v. 49, n. 8, p. 3281-3291, 2016.

- BROWER, J.E; ZAR, J. H. **Field & laboratory methods for general ecology**. Iowa: Brown Publishers, 1984, 226p.
- BUELL, C. B.; WESTON, W. H. Application of the mineral oil conservation method to maintaining collections of fungous cultures. **American Journal of Botany**, v. 34, n. 10, p. 555-561, 1947.
- CAMPOS R. F. Efeito do óleo de copaíba no crescimento do fungo embolorador *Fusarium oxysporum*. IN:ANAIS DA LXV REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA; Recife: SBPC, 2013, p.56.
- CASTELLANI, A. The "water cultivation" of pathogenic fungi. **The Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 66, n.1, p. 283-4, 1963.
- COUTO, S. R.; GUNDÍN, M.; LORENZO, M.; SANROMÁN, M. Á. Screening of supports and inducers for laccase production by *Trametes versicolor* in semi-solid-state conditions. **Process Biochemistry**, v. 38, n. 2, p. 249-255, 2002.
- DE SILVA, N. I.; BROOKS, S.; LUMYONG, S.; HYDE, K. D. Use of endophytes as biocontrol agentes. **Fungal Biology Reviews**, v. 33, n. 2, 133-148 p., 2019.
- DINIZ, F. V.; PETERS, L. P.; LOBÃO, M. S.; CARVALHO, C. M. Aplicações de bambu na construção civil: Revisão sistemática. In: CARVALHO, C. M.; FURTADO, C. M.; PROLO JÚNIOR, S. L.; ZAN, R. A. **Ciência Inovação e Tecnologia na Amazônia 2**. Rio Branco: Strictu Sensu, 2019, 221-239 p.
- ERGUN, S. O.; UREK, R. O. Production of ligninolytic enzymes by solid state fermentation using *Pleurotus ostreatus*. **Annals of Agrarian Science**, v. 15, n. 2, p. 273-277, 2017.
- FORTINA, M. G.; ACQUATI, A.; ROSSI, P.; MANACHINI, P. L.; DI GENNARO, C. Production of laccase by *Botrytis cinerea* and fermentation studies with strain F226. **Journal of Industrial Microbiology**, v. 17, n. 2, p. 69-72, 1996.
- GARCÍA-ORTIZ, V. R.; BENÍTEZ-ROCHA, G. Wood preservatives and microbial exudates with antagonistic activity against biological agents. **Revista Mexicana de Fitopatología**. v. 36, n.1, p. 56-78, 2017.
- GAVIN, J. J. Analytical Microbiology: II. The Diffusion Methods. **Applied Microbiology**, v. 5, n. 1, p. 25, 1957.
- GEISS, C. M.; DAMAS T. S. Construção sustentável: análise de viabilidade econômica perante técnicas construtivas para uma estrutura geodésica de bambu. **Maiêutica-Engenharias**, v. 3, n. 1, p. 7-19, 2017.
- GUO, L. D.; HUANG, G. R.; YU, W. A. N. G.; ZHENG, W. H. Molecular identification of white morphotype strains of endophytic fungi from *Pinus tabulaeformis*. **Mycological Research**, v. 107, n. 6, p. 680-688, 2003.

- GUSAKOV, A. V. Alternatives to *Trichoderma reesei* in biofuel production. **Trends in Biotechnology**, v. 29, n. 9, p. 419-425, 2011.
- HAMMEL, K. E.; CULLEN, D. Role of fungal peroxidases in biological ligninolysis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 11, n. 3, p. 349-355, 2008.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.; RYAN, P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.
- HE, X. L.; SONG, C.; LI, Y. Y.; WANG, N.; XU, L.; HAN, X.; WEI, D. S. Efficient degradation of Azo dyes by a newly isolated fungus *Trichoderma tomentosum* under non-sterile conditions. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 150, p. 232-239, 2018.
- HÖLKER, U.; DOHSE, J.; HÖFER, M. Extracellular laccases in ascomycetes *Trichoderma atroviride* and *Trichoderma harzianum*. **Folia Microbiologica**, v. 47, n. 4, p. 423-427, 2002.
- INTARAUDOM, C.; PUNYAIN, W.; BUNBAMRUNG, N.; DRAMAE, A.; BOONRUANGPRAPA, T.; PITTAYAKHAJONWUT, P. Antimicrobial drimane-phthalide derivatives from *Hypoxyylon fendleri* BCC32408. **Fitoterapia**, v. 138, p. 104353, 2019.
- KUMAR, S.; KAUSHIK, N. Metabolites of endophytic fungi as novel source of biofungicide: a review. **Phytochemistry Reviews**, v. 11, n. 4, p. 507-522, 2012.
- LACAZ, C. S.; PORTO, E.; VACCARI, E.M.H.; MELO, N. T; **Guia para identificação de Fungos, Actinomicetos e Algas de interesse médico**. São paulo: Sarvier, 1998, 445 p.
- LAZAROTTO, M.; OLIVEIRA, L. D. S.; HAKAKAVA, R.; ZANATTA, P.; FARIAS, C. R. J. Identificação de fungos emboloradores em madeira de *Pinus* spp. em laboratório. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 4, p. 602-605, 2016.
- LEVIN, L.; HERRMANN, C; PAPINUTTI, V. L. Optimization of lignocellulolytic enzyme production by the white-rot fungus *Trametes trogii* in solid-state fermentation using response surface methodology. **Biochemical Engineering Journal**, v. 39, n. 1, p. 207-214, 2008.
- LOPEZ, M. J.; VARGAS-GARCÍA, M. D. C.; SUÁREZ-ESTRELLA, F.; NICHOLS, N. N.; DIEN, B. S.; MORENO, J. Lignocellulose-degrading enzymes produced by the ascomycete *Coniochaeta ligniaria* and related species: application for a lignocellulosic substrate treatment. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 40, n. 4, p. 794-800, 2007.
- MA, X.; JIANG, M.; LU, W.; QIN, D. Study on the biological characteristics of stain fungi and mould fungi on bamboo wood. **Forest Research**, v. 22, n. 6, p. 819-823, 2009.
- MEDDEB-MOUELHI, F.; MOISAN, J. K.; BEAUREGARD, M. A comparison of plate assay methods for detecting extracellular cellulase and xylanase activity. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 66, p. 16-19, 2014.

MOHANAN, C. **Diseases of Bamboos in Asia: An Illustrated Manual**. New Delhi: INBAR Technical Reports, 2002, 228 p.

PANCHAPAKESAN, A.; SHANKAR, N. Fungal cellulases: an overview. In: GUPTA, K. V. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**. Amsterdã: Elsevier, 2016, 9-18 p.

PEREIRA, M.A. R.; BERALDO, A.L. **Bambu de corpo e alma**. São Paulo: Canal 6 editora, 2007, 352 p.

REMADE – REVISTA DA MADEIRA. *Principais agentes deterioradores de madeiras*. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1652&subject=Preservante&title=Principais%20agentes%20deterioradores%20de%20madeiras> Acesso 24 setembro 2019.

RODRIGUEZ, A.; FALCON, M. A.; CARNICERO, A.; PERESTELO, F.; DE LA FUENTE, G.; TROJANOWSKI, J. Laccase activities of *Penicillium chrysogenum* in relation to lignin degradation. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 45, n. 3, p. 399-403, 1996.

SAIKKONEN, K.; WÄLI, P.; HELANDER, M.; FAETH, S. H. Evolution of endophyte–plant symbioses. **Trends in plant science**, v. 9, n. 6, p. 275-280, 2004.

SCHERER, M.; FISCHER, R. Purification and characterization of laccase II of *Aspergillus nidulans*. **Archives of Microbiology**, v. 170, n. 2, p. 78-84, 1998.

SCHULTZ, T. P.; NICHOLAS, D. D.; PRESTON, A. F. Wood protection trends in North America. In: SCHULTZ, T. P.; GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D. **Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterials**. Washington: American Chemical Society, 2014, 351-361 p.

SHEARER, C.A., LANGSAM, D.M. AND LONGCORE, J.E. Fungi in freshwater habitats. In: MUELLER G. M. **Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring Methods**. San Diego: Elsevier, 2004, 513-531 p.

SHEN, X. Y.; CHENG, Y. L.; CAI, C. J.; FAN, L.; GAO, J.; HOU, C. L. Diversity and antimicrobial activity of culturable endophytic fungi isolated from moso bamboo seeds. **PloS one**, v. 9, n. 4, p. 95838, 2014.

SHEVCHENKO, E. A.; BESSOLITSYNA, E. A.; DARMOV, I. V. Identification of genes encoding ligninolytic enzymes in naturally occurring basidiomycete isolates. **Applied biochemistry and microbiology**, v. 49, n. 3, p. 280-286, 2013.

SILVA, C. D. S.; OLIVEIRA, P. **Produção de enzimas ligninolíticas por fungos isolados de solos sob cultivo de arroz irrigado**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004, 1-13 p.

SINGH, T.; SINGH, A. P. A review on natural products as wood protectant. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 5, p. 851-870, 2012a.

- SINGH, L.; SINGH, V. P. Microbial decolourization of textile dyes by the fungus *Trichoderma harzianum*. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 6, n. 4, p. 1829-1833, 2012b.
- SOWMYA, H. V.; KRISHNAPPA, M.; THIPPESWAMY, B. Degradation of polyethylene by *Trichoderma harzianum* - SEM, FTIR, and NMR analyses. **Environmental monitoring and assessment**, v. 186, n. 10, p. 6577-6586, 2014.
- TAMURA, K.; DUDLEY, J.; NEI, M.; KUMAR, S. MEGA4: molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0. **Molecular Biology and Evolution**, v. 24, n. 8, p. 1596-1599, 2007.
- TIRADO-GONZÁLEZ, D. N.; JÁUREGUI-RINCÓN, J.; TIRADO-ESTRADA, G. G.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, P. A.; GUEVARA-LARA, F.; MIRANDA-ROMERO, L. A. Production of cellulases and xylanases by white-rot fungi cultured in corn stover media for ruminant feed applications. **Animal Feed Science and Technology**, v. 221, p. 147-156, 2016.
- UPADHYAY, P.; SHRIVASTAVA, R.; AGRAWAL, P. K. Bioprospecting and biotechnological applications of fungal laccase. **3 Biotech**, v. 6, n. 1, p. 15, 2016.
- VITOLO, M. et al. **Biotecnologia Farmacêutica**. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2015, 50 p.
- WHITE, TJ., BRUNS, T., LEE, S. AND TAYLOR, J. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. Pp:315-322. In: Innis, MA., Gelfand, DH., Sninsky, JJ. and White, TJ (eds.). **PCR protocols: a guide to methods and applications**. Academic Press. San Diego USA. 482p.
- WOLFE, J.; BRYANT, G. Cellular cryobiology: thermodynamic and mechanical effects. **International Journal of Refrigeration**, v. 24, p. 438-450, 2001.
- WU, Y. R.; NIAN, D. L. Production optimization and molecular structure characterization of a newly isolated novel laccase from *Fusarium solani* MAS2, an anthracene-degrading fungus. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 86, p. 382-389, 2014.
- YANG, D. Q.; WAN, H.; WANG, X. M.; LIU, Z. M. Use of fungal metabolites to protect wood-based panels against mould infection. **BioControl**, v. 52, n. 3, p. 427-436, 2007.
- ZAFRA, G.; CORTÉS-ESPINOSA, D. V. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Trichoderma* species: a mini review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 24, p. 19426-19433, 2015.
- ZHANG, J.; PRESLEY, G. N.; HAMMEL, K. E.; RYU, J. S.; MENKE, J. R.; FIGUEROA, M.; HU, D.; ORR, G.; SCHILLING, J. Localizing gene regulation reveals a staggered wood decay mechanism for the brown rot fungus *Postia placenta*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 39, p. 10968-10973, 2016.
- ZHOU, Y. K.; SHEN, X.Y.; HOU, C. L. Diversity and antimicrobial activity of culturable

fungi from fishscale bamboo (*Phyllostachys heteroclada*) in China. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 6, p. 104, 2017.

ZIGLIO, A.C. **Uso de capsaicina como preservante de madeiras ao ataque do fungo apodrecedor**.2010. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), São Carlos, Universidade de São Paulo, 2010.

CONCLUSÕES GERAIS

O bambu é um potencial substituto a madeira serrada, sendo uma matéria prima sustentável com inúmeras aptidões para compor diferentes nichos de produção e suprir as necessidades do mercado da construção. Foi possível demonstrar que as espécies *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens* são hoje as mais utilizadas na construção civil sendo o seu principal nicho o setor de materiais de construção.

Apesar de suas características físico-mecânicas de interesse, a suscetibilidade desse material aos fungos apodrecedores foram demonstrados, evidenciando ser uma barreira para o desenvolvimento tecnológico do bambu. Todavia metabólitos secundários de fungos endofíticos, demonstrou *in vitro* a eficácia frente aos fungos apodrecedores. Logo a chave para o aumento da durabilidade do bambu pode estar associada aos compostos naturais destes microrganismos, sendo de suma importância estudos futuros para evidenciar a efetividade deste tratamento no material vegetal.