



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

USO DO BAMBU COMO MATERIAL SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

KAROLINA MARIA POZNYAKOV

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação – Curso de mestrado profissional da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Eduardo Qualharini

Rio de Janeiro
2023

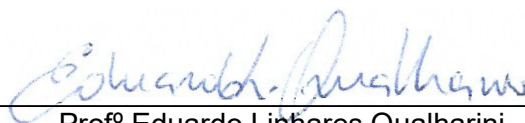
USO DO BAMBU COMO MATERIAL SUSTENTÁVEL NA CONSTRUÇÃO CIVIL – CARACTERIZAÇÃO E ESTUDOS EXPLORATÓRIOS DE APLICAÇÃO

KAROLINA MARIA POZNYAKOV

Orientador: Prof. Eduardo Qualharini

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação – Curso de mestrado profissional da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

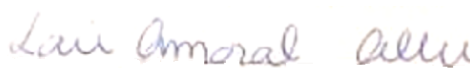
Aprovada por:



Prof^o Eduardo Linhares Qualharini
(orientador)



Prof^ª Mônica Pertel



Prof^ª Lais Amoral Alves



Prof^ª Cristina Aparecida Gomes Nassar



Prof^o Lysio Séllos Costa Filho

Rio de Janeiro

2023

ii

AGRADECIMENTOS

A DEUS...

À minha terapeuta Katia de Araujo...

Ao meu orientador Eduardo Qualharini...

Ao programa de Engenharia Ambiental do PEA/UFRJ...

Ao Bambu...

“[...]A primeira verdade que o bambu nos ensina, e a mais importante, é a humildade diante dos problemas, das dificuldades. Eu não me curvo diante do problema e da dificuldade, mas diante daquele, o único, o princípio da paz, aquele que me chama, que é o Senhor[...].”

Siddhartha Gautama (Budha)

RESUMO

Esta dissertação, que se propõe a explorar de maneira abrangente o potencial do bambu como material inovador na construção civil, utiliza como metodologia uma revisão literária. A primeira vertente da pesquisa concentra-se nas propriedades estruturais do bambu, investigando seu desempenho como material de construção. O bambu apresenta características excepcionais, como resistência mecânica e leveza, tornando-se uma alternativa promissora para substituir materiais tradicionais com uma pegada de carbono mais elevada. A rápida taxa de crescimento do bambu e sua capacidade de sequestrar carbono durante o processo de crescimento também contribuem para sua atratividade como uma opção sustentável. A segunda vertente explora o papel do bambu como agente fito remediador de esgoto, ampliando a discussão para incluir aplicações específicas no contexto do bambucreto. A capacidade única do bambu de absorver nutrientes do solo pode ser aproveitada não apenas para otimizar o tratamento de águas residuais, mas também para enriquecer o bambucreto com propriedades adicionais, como a resistência à corrosão, potencialmente ampliando seu escopo de aplicação na construção civil. A terceira vertente da pesquisa concentra-se nas propriedades estruturais do bambu, com ênfase na sua aplicação como bambucreto. Este composto, que combina bambu com materiais cimentícios, apresenta características notáveis de resistência e durabilidade, potencialmente superando o desempenho do aço em certas aplicações construtivas. Além disso, o bambucreto pode contribuir significativamente para a redução da pegada de carbono na construção civil, alinhando-se assim com os princípios da sustentabilidade. Ao integrar essas três vertentes, a dissertação, através de metodologia de pesquisa bibliográfica, propõe uma visão abrangente do bambu como um recurso multifuncional na construção civil, capaz de oferecer soluções estruturais inovadoras (bambucreto) e, simultaneamente, desempenhar um papel fundamental na gestão ambiental, especialmente no tratamento de águas residuais e na influência positiva na redução dos gases do efeito estufa. A dissertação busca contribuir não apenas para o avanço do conhecimento científico, mas também para a transformação prática do setor da construção civil em direção a práticas mais sustentáveis e ambientalmente conscientes. Em última análise, esta pesquisa visa não apenas preencher uma lacuna no conhecimento acadêmico, mas também catalisar mudanças tangíveis nas práticas construtivas, impulsionando a adoção mais ampla de alternativas sustentáveis, como o bambucreto, e promovendo um impacto positivo tanto no setor da construção quanto no meio ambiente. Finalizando, são apresentados sugestões para pesquisas futuras impulsionando mudanças culturais no cultivo do bambu, melhoria da legislação existente e criação de novas normas técnicas para suportar o emprego deste vegetal, com qualidade e segurança, na construção civil.

Palavras Chave: Bambu nas Construções; Edificações Sustentáveis; Bambucreto.

ABSTRACT

This dissertation aims to comprehensively explore the potential of bamboo as an innovative material in civil construction, considering its role as a sustainable substitute for steel (bamboo concrete or "bamboocrete"), along with its contributions to phytoremediation of domestic effluents and carbon dioxide (CO₂) sequestration. In a global context demanding more sustainable construction solutions, bamboo emerges as a promising alternative, addressing both structural and environmental challenges. The first aspect of this research focuses on the structural properties of bamboo, investigating its performance as a construction material. Bamboo exhibits exceptional characteristics such as mechanical strength and lightweight, making it a promising alternative to traditional materials with a higher carbon footprint. The rapid growth rate of bamboo and its ability to sequester carbon during the growth process further contribute to its attractiveness as a sustainable option. The second aspect explores the role of bamboo as a phytoremediation agent for sewage, expanding the discussion to include specific applications in the context of bamboocrete. The unique ability of bamboo to absorb nutrients from the soil can be leveraged not only to optimize wastewater treatment but also to enrich bamboocrete with additional properties, such as corrosion resistance, potentially expanding its scope of application in civil construction. The third aspect of the research focuses on the structural properties of bamboo, with an emphasis on its application as bamboocrete. This composite, combining bamboo with cementitious materials, exhibits remarkable strength and durability, potentially surpassing the performance of steel in certain construction applications. Furthermore, bamboocrete can significantly contribute to reducing the carbon footprint in civil construction, aligning with sustainability principles. By integrating these three aspects, the dissertation proposes a comprehensive view of bamboo as a multifunctional resource in civil construction, capable of offering innovative structural solutions (bamboocrete) and simultaneously playing a fundamental role in environmental management, especially in wastewater treatment and the positive influence on reducing greenhouse gas emissions. The dissertation seeks to contribute not only to the advancement of scientific knowledge but also to the practical transformation of the civil construction sector towards more sustainable and environmentally conscious practices. Ultimately, this research aims not only to fill a gap in academic knowledge but also to catalyze tangible changes in construction practices, driving broader adoption of sustainable alternatives like bamboocrete and promoting a positive impact on both the construction industry and the environment.

Keywords: Bamboo in Buildings; Sustainable Buildings; Bamboocrete.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 DESENVOLVIMENTO	6
2.1 Bambu – da planta ao material sustentável	6
2.2 Oportunidades e Riscos	22
2.2.1 Bambu - Tratamento de Efluentes Domésticos.....	22
2.2.2 Bambu - Agente Sequestrador de Carbono	31
2.2.3 Bambu Na Construção Civil - Bambucreto	44
3 ANÁLISE TÉCNICA DO USO DO BAMBU	52
3.1 Manifestações Patológicas	52
3.2 Tratamentos Preservativos	59
3.3 Técnicas de Inspeção.....	68
3.4 Legislação	71
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
REFERÊNCIAS.....	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição geográfica do bambu no Brasil – fora de escala	7
Figura 2 - Abrangência das espécies de grande, médio e pequeno porte	10
Figura 3 - Bambu tipo <i>Guadua augustifolia</i>	14
Figura 4 - Partes do bambu	14
Figura 5 - Estruturas anatômicas	15
Figura 6 - Colher nos meses sem “R” - maio, junho, julho, agosto	16
Figura 7 - Divisões dos colmos de bambu	18
Figura 8 - Corpo de prova após rompimento	20
Figura 9 - Flexão estática do bambu. Casca para cima (esquerda) e casca para baixo (direita).	21
Figura 10 - Vista em corte de alagados construídos do sistema de tratamento de esgoto	23
Figura 11 - Exemplos de fitorremediação relativas a cada parte da planta	25
Figura 12 - Plantação de <i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	27
Figura 13 - Concentração de metais e nutrientes (em mg/L) na água de esgoto não tratada (barras em azul) e depois do tratamento.	30
Figura 14 - Esquema de armazenagem e fluxo de carbono no sistema Terra/Atmosfera	32
Figura 15 - O processo de produção de metano em um sistema digestivo bovino	33
Figura 16 - Emissão de gas metano de 1990 a 2019 no Brasil	34
Figura 17 - Variação percentual de carbono conforme a maturidade do bambu.	41
Figura 18 - Variação percentual de carbono e hidrogênio nas diferentes partes do caule	41
Figura 19 - Comparativo entre Pinus x Eucalipto x Bambu	42
Figura 20 - Armação de bambu em uma laje	45
Figura 21 - Substituição de aço por bambu em estruturas de concreto armado	51
Figura 22 - Agentes de degradação do bambu	52
Figura 23 - Parede de bambu com mofo verde-branco	53
Figura 24 - Aparência da cobertura de bambu após excessiva exposição ao sol	54
Figura 25 - Fungos em taliscas de bambu	55
Figura 26 - Classificação dos fungos que atacam ao bambu	56
Figura 27 - Fungos emboloradores (a) e manchadores do bambu (b)	56
Figura 28 - Bambu atacado por inseto <i>Chlorophorus annularis</i>	57
Figura 29 - Ruptura dos caules de bambu por compressão paralela (a) e por compressão perpendicular às fibras (b)	58
Figura 30 - Ruptura dos caules de bambu por tração perpendicular às fibras (a) e cisalhamento paralelo às fibras (b)	58
Figura 31 - Ciclo de vida do bambu aplicado na construção civil	60
Figura 32 - Imersão de colmos de bambu em solução de boro ou cobre	62
Figura 33 - Imersão dos colmos em água	63
Figura 34 - Tratamento por fumaça	64
Figura 35 - Utilização de higrômetros resistivos	69
Figura 36 - Teste de Raio-X	70
Figura 37 - Ensaio termográfico	71
Figura 38 - Ordem cronológica das normatizações sobre bambu	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de oxigênio dissolvido e da contagem de microrganismos nas amostras com bambus.	28
Tabela 2 - Nomenclatura das amostras	40
Tabela 3 - Custo de um pilar (coluna) de concreto armado.....	48
Tabela 4 - Custo de um pilar (coluna) de bambucreto.....	49
Tabela 5 - Resistência de diferentes materiais em relação ao aço.	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Espécies de bambu adequadas para usos estruturais no Brasil.....	10
Quadro 2 - Espécies de bambu utilizada para uso estruturais no mundo.....	11
Quadro 3 - Comparativo das propriedades mecânicas e físicas do bambu em comparação com outros materiais comuns de construção:	22

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABMTENC	Associação Brasileira em Materiais e Tecnologias não Convencionais
ABPB	Associação Brasileira de Produtores de Bambu
ABPM	Associação Brasileira de Preservadores da Madeira
CCS	<i>Carbon Capture and Storage</i>
CCUS	<i>Carbon capture, utilization and storage</i>
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFC	Clorofluorcarbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COP26	26ª edição da Conferência das Nações Unidas
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>)
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FUNTAC	Fundação de Tecnologia do Estado do Acre
GEE	Gases do Efeito Estufa
GPa	Giga Pascal
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LABRAS	Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MPa	Mega Pascal
OD	Oxigênio dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PLANAPO	Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica
PNF	Programa Nacional de Florestas
PNMCB	Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu

SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
UFAC	Universidade Federal do Acre
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> (UNFCCC)
UNICAMP	Universidade de Campinas
UV	Ultra violeta

GLOSSÁRIO

Bainha caulinar: capa protetora do entrenó, que cresce a partir do nó e que se desprende mais cedo ou mais tarde, dependendo da espécie de bambu. Serve para a identificação da espécie, em função de seu formato característico.

Bambu entouceirante – bambu, cujos rizomas crescem lentamente, formando diversas touceiras.

Broto: novo colmo, que acabou de sair do solo.

Colmo: caule dos bambus lenhosos, composta de nós e entrenós, que serve de apoio para os galhos e as folhas.

Diafragma: paredes internas horizontais dos nós.

Entrenó: distância entre os nós.

Gema: broto ainda não desenvolvido, coberto por folhas protetivas.

Lúmen: cavidade ou parte interna de um tubo, ou colmo de bambu.

Nó: parte da estrutura do bambu que o divide em seções através dos diafragmas.

Parede: tecido lenhoso externo.

Rizoma: caule modificado subterrâneo, responsável pelo suporte da planta.

Touceira: moita densa de bambu, formada de um conjunto de colmos unidos a um mesmo sistema de rizomas.

Vara: peça inteira de bambu, formada por vários colmos.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação do tema

Ao longo dos milênios, o bambu tem figurado como uma planta de notável presença, deixando vestígios de sua existência tanto na Ásia quanto na América Latina. Com uma trajetória histórica rica, este vegetal multifuncional, já objeto de estudos notáveis como os de Lopez (2003) e Ghavami (2005), emerge como um material de construção leve e versátil. Ao contrário das práticas tradicionais, centradas muitas vezes em materiais de alta pegada de carbono, esta dissertação se propõe a explorar o potencial do bambu não apenas como componente estrutural, mas também como agente benéfico na mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). Ao compreender a fundo as propriedades mecânicas e ambientais do bambu, buscamos não apenas destacar sua eficiência estrutural, mas também sua valiosa contribuição para práticas construtivas mais sustentáveis e ecologicamente conscientes.

O uso do bambu tem evoluído cada vez mais no âmbito das edificações devido às suas características de resistência, de leveza e de sustentabilidade. Assim sendo, por ser um material com baixa energia incorporada e frequentemente encontrado no Brasil, o bambu se destaca como possível alternativa sustentável na utilização em construção. Para a área da construção civil, o Bambu é reconhecido como um material “verde”, com relevante potencial por ser um material renovável, com flexibilidade, bastante adaptável, notável por sua combinação de baixo peso e alta durabilidade. (GHAVAMI, 2005)

De acordo com Pereira e Beraldo (2008), a durabilidade do bambu quando utilizado na construção civil é influenciada pelas condições ambientais e pela maneira como é aplicado na edificação. Este estudo tem como objetivo identificar as escolhas decisões tomadas durante a etapa de planejamento que impactam a longevidade dos elementos de bambu, analisando problemas patológicos e depreciação que ocorrem no material utilizado nas construções.

Também, fatores relacionados ao clima, exposição às instabilidades climáticas e os problemas no tratamento de conservação do vegetal, seriam as prováveis causas de manifestações patológicas. Procedimentos profiláticos são sugeridos para que seja

possível minimizar ou impedir as patologias em obras com a utilização do bambu. (PEREIRA; BERALDO, 2008)

Portanto, o bambu oferece aos desenhistas de produtos diversas opções de substituição de materiais, além de ser uma alternativa para a engenharia de materiais e contribuir para a redução dos níveis de carbono na atmosfera.

1.2 Objetivo do trabalho

Objetivo Geral:

Investigar e analisar de forma abrangente o potencial do bambu como material inovador na construção civil, considerando suas propriedades estruturais, seu papel como substituto sustentável do aço (bambucreto), sua capacidade como agente fito remediador de esgoto e sua atuação positiva no sequestro do CO₂.

Objetivos Específicos:

- a) Explorar, na pesquisa bibliográfica, a capacidade do bambu como agente fito remediador de esgoto, examinando sua eficácia na remoção de nutrientes e impurezas presentes nos efluentes domésticos.
- b) Analisar a literatura existente sobre a capacidade do bambu de sequestrar dióxido de carbono durante o processo de crescimento, contribuindo para a redução da pegada de carbono na construção civil.
- c) Apresentar o desempenho do bambucreto em comparação com o aço em aplicações específicas na construção civil, analisando sua resistência, durabilidade e outras propriedades relevantes.
- d) Analisar legislações, nacionais e internacionais, bem como normas técnicas existentes sobre o uso adequado do bambu e diretrizes para testes em laboratório.

1.3. Justificativa do trabalho

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a busca por soluções ecologicamente amigáveis na construção civil têm levado pesquisadores e profissionais a explorar materiais alternativos que possam atender a demanda por infraestruturas mais sustentáveis. Nesse contexto, o bambu tem emergido como um material promissor, apresentando propriedades mecânicas notáveis e características sustentáveis que o tornam uma escolha atrativa para aplicações na construção civil.

Esta pesquisa busca explorar não apenas as propriedades estruturais do bambu, mas também investigar seu potencial como agente fito remediador de esgoto e sequestrador de dióxido de carbono (CO₂). O uso do bambu na construção civil tem se mostrado eficaz na redução da pegada de carbono, devido à sua rápida taxa de crescimento, capacidade de fixação de carbono durante o crescimento e baixa energia incorporada em seu processamento.

Além disso, o bambu possui características únicas que o tornam apto a desempenhar um papel crucial na fito remediação de efluentes domésticos. Sua capacidade de absorver nutrientes, como nitrogênio e fósforo, do solo pode ser explorada para otimizar o tratamento de águas residuais, contribuindo assim para a preservação dos recursos hídricos e mitigação dos impactos ambientais associados à poluição da água.

Ao abordar simultaneamente o uso do bambu na construção civil e suas capacidades fito remediadoras, esta dissertação pretende oferecer uma visão holística e inovadora sobre como este material versátil pode ser integrado de maneira sustentável nos processos construtivos contemporâneos. A pesquisa não apenas contribuirá para o desenvolvimento de técnicas construtivas mais sustentáveis, mas também oferecerá insights valiosos para enfrentar desafios ambientais relacionados à gestão de resíduos e às emissões de gases de efeito estufa.

Portanto, esta dissertação busca preencher uma lacuna na literatura acadêmica, promovendo uma compreensão mais abrangente do papel potencial do bambu na construção civil e no contexto da fito remediação, destacando sua relevância para um futuro mais sustentável e resiliente.

1.4. Metodologia Empregada

Em relação aos procedimentos metodológicos, esse trabalho possui uma abordagem qualitativa, já que para sua realização foram levantadas informações a partir de artigos, relatórios e outros seguidos da interpretação dessas informações.

Segundo Gil (2008) a análise qualitativa consiste na organização das informações selecionadas de forma a possibilitar a análise sistemática das diferenças e de semelhanças e seu inter-relacionamento.

Na condução desta dissertação, a metodologia de referencial bibliográfico desempenha um papel crucial. Ao adotar esta abordagem, buscou-se estabelecer uma base sólida e abrangente para a pesquisa, fundamentada em contribuições acadêmicas prévias relacionadas ao potencial do bambu na construção civil. A análise crítica de referências bibliográficas permite não apenas compreender a evolução do conhecimento na área, mas também identificar lacunas, contradições e tendências emergentes (MARCONI; LAKATOS, 2010). Através dessa metodologia, a dissertação busca posicionar-se dentro do contexto mais amplo da literatura científica disponível, aproveitando o acúmulo de conhecimento existente para oferecer percepções significativas sobre o uso do bambu como material inovador. A revisão criteriosa da bibliografia acessível é essencial para garantir a validade e a relevância das conclusões apresentadas, proporcionando assim uma base sólida para contribuições significativas ao campo da construção civil sustentável.

O levantamento de dados bibliográficos foi realizado através de artigos, livros, relatórios técnicos e de sustentabilidade, legislações e outros documentos acerca do tema central estudado – o uso integrado do bambu como insumo na construção civil.

Por ter seus dados coletados a partir de artigos, relatórios, e outros, esta pesquisa enquadra-se, também, como sendo documental, como explanado por Marconi e Lakatos (2010). O caráter da pesquisa documental é que a origem da coleta de dados está limitada a documentos, escritos ou não, estabelecendo o que se considera como fontes primárias.

Como etapa para o desenvolvimento e conclusão dessa pesquisa foi necessário a análise dos dados coletados. Dessa forma, pode-se considerar que foi adotado neste trabalho o método da análise de conteúdo. Este método compreende uma série de técnicas de pesquisa que podem ser aplicadas no intuito de buscar e identificar o sentido de um determinado documento (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Através desta metodologia, foi apresentado como resultado um possível aproveitamento do bambu e, em seguida, trazidas algumas discussões sobre este resultado.

1.5. Conteúdo dos capítulos

O Capítulo 1 fornece uma visão geral da dissertação, apresentando o contexto geral da pesquisa. Discute-se a crescente preocupação com a sustentabilidade na

construção civil e a busca por alternativas ecologicamente viáveis. A introdução destaca a relevância do bambu como um material sustentável e multifuncional, abordando suas propriedades estruturais, capacidade de tratamento de efluentes e papel como agente sequestrador de carbono.

O Capítulo 2 refere-se ao desenvolvimento do conteúdo acerca do objetivo principal. Este capítulo explora o ciclo de vida do bambu, desde o cultivo até a sua transformação em material sustentável. Abordagens de colheita, propriedades físicas e químicas são discutidas, destacando a versatilidade do bambu como uma opção de construção e suas vantagens ambientais. Aborda as oportunidades e desafios associados ao uso do bambu em diversas aplicações. São destacados três pontos principais: o papel do bambu no tratamento de efluentes domésticos, seu potencial como agente sequestrador de carbono e sua aplicação inovadora como bambucreto na construção civil. São apresentados possíveis problemas e manifestações patológicas relacionadas ao uso do bambu na construção civil e discutidas questões como deterioração, fungos, e outros fatores que podem afetar a durabilidade do material. Análises de diferentes métodos de tratamento preservativo para aumentar a durabilidade e resistência do bambu também são feitas. Esse capítulo apresenta tratamentos naturais e químicos, destacando as melhores práticas para garantir a longevidade do material. Explora-se as técnicas modernas de inspeção para avaliar a qualidade e a integridade do bambu em aplicações estruturais. Isso inclui métodos não destrutivos e tecnologias avançadas de inspeção. Conclui-se com uma análise das questões legais relacionadas ao uso do bambu na construção civil. São apresentadas normas e regulamentações para garantir a conformidade e a segurança nas práticas construtivas, no âmbito nacional e internacional.

O Capítulo 3 recapitula os principais pontos discutidos na dissertação, enfatizando as descobertas significativas e destacando a importância do bambu como material sustentável na construção civil. São apresentadas recomendações práticas e sugestões para futuras pesquisas. A conclusão reforça a contribuição da dissertação para o avanço do conhecimento científico, cultural e sua relevância para práticas construtivas mais sustentáveis.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Bambu – da planta ao material sustentável

2.1.1 Introdução

Para viabilizar o progresso sustentável no planeta, é necessário que a Arquitetura do futuro conte com modelos e materiais construtivos inovadores. A crescente demanda por habitações no Brasil e no mundo implica em um aumento no consumo de matérias-primas e, conseqüentemente, uma maior emissão de CO₂ e de consumo de energia, proveniente de fontes fósseis, o que exige uma resposta do setor da construção civil. (MEDEIROS, 2007)

Por outro lado, o crescimento populacional exige uma mudança cultural nas pessoas, seja pela conscientização com relação ao desperdício de recursos naturais, buscando um menor consumo, seja pela aceitação de novos materiais construtivos. Para que esse processo se concretize, é essencial que haja avanços em pesquisa e validação por parte da comunidade científica, bem como aprovação por parte dos especialistas na área. (SEBRAE, 2008; FREITAS, MELHADO e CARDOSO, 2018)

Assim, para alcançar um desenvolvimento sustentável, é preciso considerar que o modelo atual de exploração dos recursos naturais tem sido cada vez mais predatório, ocasionando a degradação do meio ambiente e a exclusão social. Nesse sentido, novos materiais que demandem menor quantidade de energia em sua produção e gerem menos resíduos estão ganhando relevância na cadeia produtiva da construção civil. (BARRETO *et al.*, 2021)

A utilização de áreas florestais para a construção de moradias pode ser vista como um dos propósitos mais destacados do cultivo de árvores e revela um considerável potencial para se estabelecer como uma das opções economicamente sustentáveis em diversas partes do Brasil. Nesse contexto, o bambu na sua forma natural emerge como um dos materiais construtivos com grande potencial para o futuro, devido às suas propriedades físico-mecânicas, bem como aos benefícios ambientais, econômicos e sociais que oferece. (SIMÃO *et al.*, 2019)

Profissionais da construção civil, incluindo arquitetos, engenheiros e construtores, especialmente em regiões da Ásia e América Latina (Figura 1), têm significativamente diversificado os usos do bambu nos últimos anos. Ao longo dos tempos foram construídas estruturas como passarelas e pontes, algumas das quais até suportam o tráfego de veículos leves. O impacto técnico e estético dessas aplicações impressionou projetistas na Europa, Ásia e Estados Unidos, que estão redescobrando as diversas possibilidades do bambu. Seu

uso varia desde habitações e pavilhões até estruturas maiores, como coberturas leves e outras construções imponentes. (SIMÃO *et al.*, 2019).

Figura 1 - Distribuição geográfica do bambu no Brasil – fora de escala
Instituto do Bambu (2014)



O bambu de forma cilíndrica apresenta uma eficiência estrutural notável: seu perfil circular contém fibras na direção longitudinal, o que resulta na obtenção de elementos estruturais mais leves quando comparados a materiais sólidos, como a madeira. A sua configuração tubular final, inerente a qualquer componente estrutural desse tipo, permite uma distribuição mais eficaz das cargas aplicadas, ao contrário das seções convencionais encontradas em outros materiais, como as retangulares ou mesmo em formato de "I". Referente aos resultados físicos e mecânicos, o bambu roliço pode, do ponto de vista estrutural, ultrapassar a maioria das madeiras tropicais. (MOREÉ, 2003; AZAMBUJA, 2012)

Além das propriedades citadas, a planta em foco é reconhecida por sua notável taxa de crescimento, sendo uma espécie vegetal de rápido desenvolvimento. Ela é uma cultura perene que requer poucos cuidados em seu cultivo, tornando seu manejo descomplicado e suas raízes desempenham um papel importante na proteção do solo. Além disso, a planta pode ser utilizada como alimento para os seres humanos quanto para os animais. Seu potencial se estende para a confecção de utensílios domésticos e móveis. Além disso, ela representa uma fonte adicional de renda para agricultores familiares, mesmo em propriedades de pequeno porte. (GHAVAMI, 2007)

Khosrow Ghavami¹, do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio), pesquisador do bambu como material

¹ Professor Emérito desde junho 2013 e Titular da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) desde 1978. Pesquisador senior (FAPESP) da USP- Pirassununga (2014-2015).

construtivo, disse durante uma palestra proferida em Florianópolis, que “uma touceira de bambu é uma fábrica de material de construção, que além de não poluir, absorve CO₂ da atmosfera e libera oxigênio (O₂)”.

Assim, a arquitetura do século XXI deve necessitar de novos materiais, novos modelos de produção para contribuir com o desenvolvimento sustentável do planeta; porém quando se fala sobre o uso do bambu como material construtivo, existe desconhecimento generalizado sobre seu uso na construção civil, incluindo a necessidade de integrar o Bambu.

Entretanto, a utilização do bambu como componente estrutural e arquitetônico ainda não recebeu uma ampla aceitação por parte das principais autoridades na área de Engenharia e Arquitetura no Brasil. Isso se traduz na falta de literatura, na limitada normatização sobre o tema e na ausência de incorporação prática em projetos e programas de formação de profissionais competentes sobre o tema, visando investigar as razões por trás da discreta presença do bambu como material construtivo, apesar das condições favoráveis de solo e clima que o país oferece para o seu cultivo.

Interpretando as características e possíveis aplicações do bambu, surge, então, a indagação sobre os motivos pelos quais esse recurso vegetal é tão pouco explorado como material construtivo no Brasil sendo questões:

- Existirem lacunas ou setores não consolidados na sua cadeia produtiva(?)
- Quais são as áreas e atividades dessa cadeia produtiva que demandam maior desenvolvimento(?)
- Quais seriam as oportunidades de aprimoramento(?)
- Como as obras e/ou estruturas edificadas em bambu foram efetivadas(?)

2.1.2 História

A Humanidade emprega o bambu há milênios, principalmente no Oriente, em países como a China, Índia, Japão, Indonésia e as Filipinas, e no Ocidente, na Colômbia e a Costa Rica, onde existem indústrias direcionadas para exploração e comercialização de produtos como pisos, forros e laminados (HIDALGO-LOPEZ, 2003).

Assim, o bambu tem oferecido abrigo, alimento, utensílios, ferramentas e uma gama ampla de outros itens. Estima-se atualmente que ele colabora para a sobrevivência de mais de uma centena de milhar de pessoas no Brasil (Figura 1).

Neste mesmo nível de importância, ao lado de usos conservadores, tem sido o desenvolvimento da utilização industrial do bambu (SASTRY, 1999).

Contudo, devido a grande quantidade de bambu nativo existente na Ásia, os orientais implementaram técnicas para a sua viabilização na indústria da construção civil, bem como no uso no setor de irrigação, instrumentos mecânicos para a locomoção, móveis, etc. Também, na América Latina, na Venezuela, Colômbia e Peru foram desenvolvidas tecnologias de construção com o bambu em união e com outros materiais, como a madeira, o aço e o concreto, propiciando a construção de estruturas, resistentes e funcionais.

Assim, ao se deparar com as vantagens da utilização desse recurso natural, como uma opção sustentável para a engenharia, pesquisadores têm dispendido esforços para o dimensionamento da capacidade estrutural dessa matéria prima florestal, bem como de sua trabalhabilidade (ARCHILA *et al.*, 2018). Assim sendo, as pesquisas observaram que o *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys pubescens* foram às espécies de bambu mais frequentemente utilizadas, como principais aplicações para laminados, termoplásticos e na construção de treliças, em estado bruto, e até tratamento de esgoto (Quadro 1).

Em relação ao *Guadua angustifolia*, o maior número de ocorrências pode estar diretamente relacionado à existência natural de variedades de *Guadua* na América do Sul, a qual, conforme o Projeto Radam², foi possível identificar uma região de mais de 7 milhões de hectares de bambus do tipo *Guadua* no bioma Amazônico (PEREIRA; BERALDO, 2007), na região de Acre/Amazonas.

² Projeto Ra-dar da Amazônia, mais conhecido por sua sigla RADAM, operado entre 1970 e 1985 no âmbito do Ministério das Minas e Energia, foi dedicado à cobertura de diversas regiões do território brasileiro por imagens aéreas de radar, captadas por avião. O uso do radar permitiu colher imagens da superfície, sob a densa cobertura de nuvens e florestas.

Quadro 1 - Espécies de bambu adequadas para usos estruturais no Brasil.
Greco e Cromberg (2011), adaptado pelo autor.

Grande Porte	Cultivados no Brasil	Bambusa bamboz
		Dendrocalamus asper
		Dendrocalamus giganteus
		Dendrocalamus latiflorus
		Guandua augustifolia
		Gaundua cacoenzis
		Phyllostachys Bambusoides
	Phyllostachys pubescens	
Não cultivados no Brasil	Bambusa polymorpha	
	Dendrocalamus brandisii	
Médio Porte	Cultivados no Brasil	Bambusa oldhamii
		Bambusa tulda
		Gigantochloa atter
		Phyllostachys nigra var. henonis
	Não cultivados no Brasil	Bambusa balcooa
		Bambusa blumeana
		Gigantochloa apus
		Gigantochloa levis
Pequeno porte	Cultivados no Brasil	Bambusa textilis
		Bambusa tuldoides
		Phyllostachys aurea

Mas, esses vegetais também são encontrados de forma nativa em uma vasta área geográfica, que abrange três regiões principais: uma parte da América do Sul, África subsaariana e uma extensa área da Ásia (Figura 2).

Figura 2 - Abrangência das espécies de grande, médio e pequeno porte
Bamboo Biodiversity (2015)



Há de se registrar que, embora fósseis de folhas e pólen de bambu possam ser encontrados na Europa, não há atualmente espécies endêmicas neste continente (Quadro 2). (HIDALGO, LOPEZ, 2003)

Quadro 2 - Espécies de bambu utilizada para uso estruturais no mundo. Silva (2005)

Espécie de bambu	Nome científico	Países de origem	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração (MPa)	Densidade (g/cm ³)
Guadua angustifolia	Guadua angustifolia	Colômbia, Equador, Peru	55-85	60-90	0,4-0,8
Dendrocalamus giganteus	Dendrocalamus giganteus	Índia, Indonésia	50-80	80-100	0,6-0,8
Phyllostachys bambusoides	Phyllostachys bambusoides	Japão, China	50-80	80-120	0,6-0,8
Bambusa oldhamii	Bambusa oldhamii	Taiwan	40-70	80-100	0,5-0,7
Gigantochloa atroviolacea	Gigantochloa atroviolacea	Indonésia, Malásia	50-70	60-80	0,6-0,8

É importante ressaltar que as propriedades mecânicas e físicas do bambu podem variar significativamente dependendo das condições climáticas e do manejo da cultura. Portanto, é essencial realizar testes específicos em cada lote de bambu antes de sua utilização em estruturas. (GHAVAMI; MARINHO, 2005)

2.1.3 Programas de Desenvolvimento Sustentável

Existem diversos programas de desenvolvimento sustentável que incluem o bambu como uma opção de cultivo e uso, tanto no Brasil quanto em outros países. Alguns exemplos são:

- A. **Programa Nacional de Florestas (PNF)**³ - O PNF, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, objetiva incentivar a conservação, a recuperação e o uso sustentável dos recursos florestais brasileiros. O bambu é uma das espécies

³ O Programa Nacional de Florestas (PNF) foi criado em 2006, pelo Decreto nº 5.773, de 9 de maio de 2006, durante o governo do ex-presidente Luiz Inácio Lula da Silva. PNF busca promover o manejo florestal sustentável, a produção e a comercialização de produtos florestais, bem como a inclusão social e o fortalecimento da cadeia produtiva florestal.

contempladas pelo programa, que busca promover o manejo sustentável do bambu e a sua inclusão em cadeias produtivas.

- B. **Programa BambuSC**⁴ - O BambuSC é um programa de incentivo ao cultivo e uso do bambu no estado de Santa Catarina, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) em associação com outras instituições. O programa busca fomentar a produção e comercialização do bambu, promover o uso do bambu na construção civil e incrementar a sua utilização em programas de recuperação e reflorestamento de áreas degradadas.
- C. **Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PLANAPO)**⁵ - O PLANAPO, dirigido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, tem como objetivo fomentar a produção agroecológica e orgânica no Brasil. O bambu é uma das espécies contempladas pelo plano, que busca incentivar a utilização do bambu como uma alternativa sustentável para a produção de diversos produtos, como móveis, utensílios domésticos e materiais de construção.
- D. **Programa Internacional de Bambu e Rattan (INBAR)**⁶ - O INBAR é uma organização intergovernamental que tem como objetivo promover o cultivo e uso sustentável do bambu e rattan⁷ em todo o mundo. O programa trabalha em parceria com governos, organizações da sociedade civil e setor privado para incentivar a utilização do bambu em diversas áreas, como construção civil, produção de energia renovável e conservação ambiental.

Assim, o cultivo e uso do bambu têm sido cada vez mais valorizados como uma opção sustentável e de baixo impacto ambiental, sendo o seu potencial ainda bastante inexplorado em diversas áreas.

⁴ O Programa BambuSC foi criado em 2008, pelo Governo do Estado de Santa Catarina, no Brasil, por meio de uma iniciativa da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) em parceria com outras instituições.

⁵ O Plano Nacional de Agroecologia e Produção Orgânica (PLANAPO) foi criado em 2013, pelo Governo Federal do Brasil, por meio do Decreto Presidencial nº 7.794, de 20 de agosto de 2012. O programa é coordenado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

⁶ O INBAR (*International Bamboo and Rattan Organization*) foi criado em 1997, durante a Conferência Internacional sobre Bambu e Rattan em Bar, na Índia. A organização foi fundada por 11 países produtores de bambu e rattan, incluindo China, Índia, Indonésia, Nepal, Bangladesh, Camboja, Laos, Malásia, Myanmar, Tailândia e Vietnã. O INBAR tem sede em Pequim, na China, e conta com escritórios regionais em diferentes partes do mundo.

⁷ Rattan é uma fibra originária da Ásia, a partir de uma planta conhecida como "Calamus Ratang", no qual seus feixes são umedecidos e descascados com água. É devido esse tratamento que os móveis de rattan apresentam amarrações que ajudam a trazer beleza e design único às peças.

2.1.4 Estrutura

O bambu faz parte da família *Poaceae*, subfamília *Bambusoideae* e tribo *Bambuseae*. O bambu, segundo Engler, pertence à divisão *Angiospermae* e à classe das *Monocotyledoneae*.

Com mais de 1200 tipos identificados, trata-se de uma planta bastante harmonizada aos diversos climas desde montanhas com baixas temperaturas até regiões tropicais próximas a linha do Equador (LIU *et al.*, 2012). Existem aproximadamente 75 tipos de bambu catalogados sendo que essa identificação é bem dificultada pela imprevisibilidade da floração, podendo estar relacionada à morte da touceira (LIESE, 1998). Aproximadamente 64% dos plantios se encontram no sudeste da Ásia, 33% na América do Sul e o restante na África e Oceania (MASTAI, 2013). É uma planta predominantemente tropical e que cresce bem mais rapidamente do que qualquer outra planta florestal, precisando, em média, de três a seis meses para que um broto atinja sua altura máxima, de até 30 m, as quais são espécies chamadas de gigantes, conforme Figura 3 (FARRELY, 1984).

Os tipos mais estudados no Brasil são, na sua maioria, oriundos do continente asiático, como *Bambusa vulgaris*, *B. tuldoides*, *Dendrocalamus strictus*, *D. giganteus* e *Phyllostachys aurea* (AZZINI *et al.*, 1997). As nativas necessitam de pesquisas mais aprofundadas e concentram-se em algumas regiões de mata atlântica, e da região amazônica, em especial no estado do Acre (*Guadua taquara*).

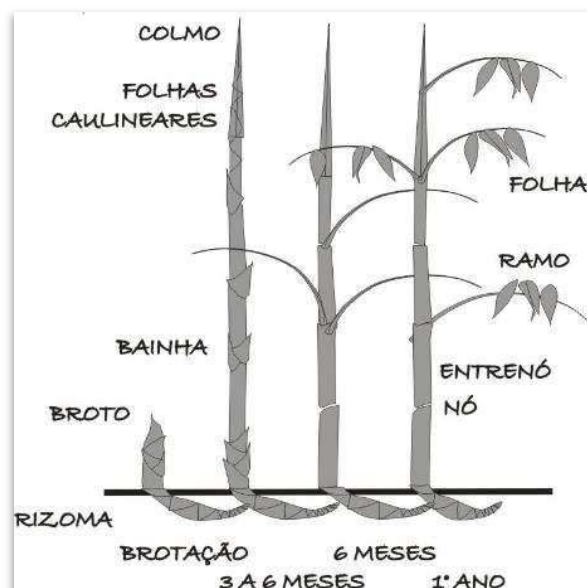
O bambu *Guadua* leva de 5 a 6 anos para atingir sua fase de crescimento completa e o maior diâmetro registrado do bambu *guadua* é de 25 centímetros, e geralmente encontrado com medidas entre 9 e 13 centímetros (Figura 3). Ele é capaz de crescer a uma taxa de 21 centímetros por dia, alcançando sua altura máxima de 15 a 30 metros nos primeiros 6 meses de crescimento. Quando bem mantidas, suas estruturas podem permanecer em bom estado por até 25 anos

Figura 3 - Bambu tipo *Guadua augustifolia*
Kemin (2006)



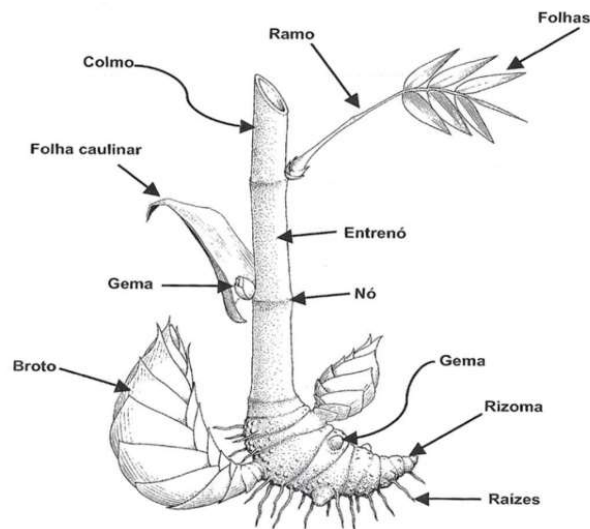
Quanto ao sistema radicular, os bambus agrupam-se em Paquimorfos ou Entouceirantes (*Bambusa*, *Guadua* e *Dendrocalamus*) e Leptomorfos ou alastrantes (*Phyllostachys*, *Arundinaria* e *Sasa*). Os primeiros dispõem de rizomas curtos e grossos com gemas laterais, e o segundo grupo têm rizomas que se desenvolvem no solo de forma a abranger grandes áreas (Figura 4).

Figura 4 - Partes do bambu.
Greco e Cromberg (2011)



Assim sendo, após a colheita do bambu é importante que haja técnicas apropriadas que modifiquem o nível de amido existente no colmo (Figura 5) para otimizar o aumento da sua vida útil (TIBURTINO *et al.*, 2015).

Figura 5 - Estruturas anatômicas
National Mission on Bamboo Applications (NMBA, 2004)

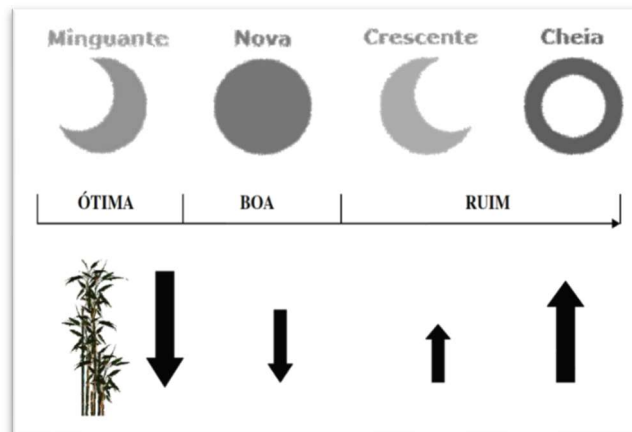


Entre a colheita dos colmos e a sua aplicação na construção, o bambu deve passar pelos processos de tratamento e de secagem, cuja sequência se altera a depender do método de proteção adotado.

Em relação à madeira, a utilização do bambu apresenta diversas vantagens, tais como baixo custo, leveza, flexibilidade, superfície uniforme, coloração atraente, resistência à tração similar à do aço, resistência à compressão superior ao concreto, valor estético elevado e ótimos resultados quando utilizado na fabricação de habitações, móveis, estruturas, tubulações e sistemas de drenagem.

No que se refere à colheita, Kleine (2010) assinala que a durabilidade dos colmos é elevada quando a colheita é feita nos meses de outono e de inverno (período menos chuvoso), devido a quantidade de carboidratos nos colmos maduros ser muito baixa. Não se recomenda que a colheita seja feita durante a brotação para não comprometer os brotos (Figura 6).

Figura 6 - Colher nos meses sem "R" - maio, junho, julho, agosto
 Guia do Agricultor (2012)



Adicionalmente às vantagens já apresentadas, o bambu também se revela como uma alternativa de menor custo em relação ao consumo energético. Pesquisas conduzidas pela Associação Brasileira em Materiais e Tecnologias não Convencionais (ABMTENC) a respeito do impacto ambiental e do gasto energético de distintos materiais e opções indicam que o bambu tem o potencial de substituir o aço em elementos estruturais como colunas de concreto, lajes e vigas. Os resultados dos testes apontaram efeitos favoráveis nessa aplicação.

2.1.5 Impacto Ambiental

O processo produtivo, da colheita à aplicação, tem nível de impacto ambiental muito baixo, causando sua ampla distribuição, ciclo de crescimento rápido e nível de resíduos baixo.

O bambu é considerado um material eclético e, além de ter baixo consumo de produção, contribui positivamente com o meio ambiente como ser eficiente no resgate de CO₂, onde auxiliaria na redução do efeito estufa.

Logo, a substituição se torna relevante tanto no âmbito sustentável, desde a plantação, com a captura do CO₂ e liberação de O₂, até a economia pois conforme Sartori (ROHR, 2015), a utilização do bambu na construção de paredes, pilares e vigas apresenta uma redução de 40% do custo da obra, comparando com a mesma feita em alvenaria convencional. Apesar de o gasto energético não ser uma medida comum nesse contexto, Ghavami (1992) citado por Silva e Barbalho (2018), efetuou um estudo a fim de comparar os gastos energéticos em Mega Joule (MJ) para a produção de 1m³ de tensão do bambu com as matérias-primas mais utilizadas na construção

civil, comprovando a eficiência energética ao se trabalhar com essa planta como material construtivo. Os resultados desta análise apresentaram um gasto energético de 30MJ para o bambu, 80 MJ para a madeira, 240 MJ para o concreto e 1500 MJ para o aço.

2.1.6 Uso na Construção Civil - Propriedades

O bambu é frequentemente avaliado em termos de sua resistência mecânica, densidade, teor de umidade, taxa de crescimento, entre outras características. A durabilidade dos materiais e seus componentes construtivos é muito importante para os projetistas que visam atender à exigência dos usuários finais em prolongar a vida útil das suas construções.

“A durabilidade não é uma propriedade do material, mas o resultado da interação entre o material e o ambiente, incluindo aspectos do microclima.” (JOHN; SATO, 2006, p. 24).

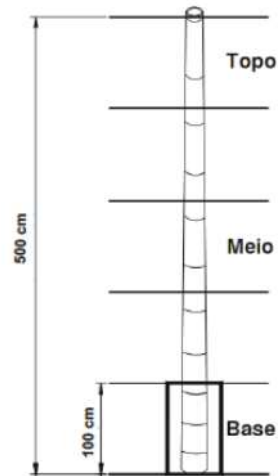
O bambu possui resistência alta a diferentes forças (Tabela 3) e um peso específico reduzido, o que minimiza o investimento em seu manuseio e seu transporte, como sugere Ghavami (2006).

Conforme AZZINI *et al.* (1997), a planta apresenta alta resistência físico-mecânica, além de leveza e de flexibilidade. O bambu tem excepcional vigor vegetativo, que resulta na velocidade de desenvolvimento axial dos colmos (7,88 e 22,0 cm/dia para *Guadua angustifolia* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente) e ainda, um crescimento vertical máximo alcançado dentro do intervalo de 80 a 110 dias.

Em um estudo feito por Ghavami e Marinho (2003), foram efetuados ensaios mecânicos em diversas espécies de bambu (*Dendrocalamus giganteus*, *Guadua angustifolia*, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara*, *Phyllostachys heterocycla pubescens-Mosó*, e *Phyllostachys bambusoides-Matake*), o que permitiu mapear as características físicas e mecânicas, além de indicar o módulo de resistência e de tensão na superfície do colmo através do momento de flexão dos referidos bambus. Com base nos resultados, foi possível determinar critérios de dimensionamento e de emprego em processos industriais viabilizando a utilização do bambu.

Os colmos são estudados em três partes distintas: base, meio e topo, conforme Figura 7.

Figura 7 - Divisões dos colmos de bambu
Berndsen et al. (2013)



A. Resistência à tração

Apesar de a resistência à tração não ter apresentado variação com a região do colmo, Lopez (2003) afirma que essa resistência pode ser reduzida consideravelmente pela presença de nós. Em regiões com nós ocorre uma concentração de tensões durante os ensaios de tração, pois os feixes de fibras ao sofrerem um desvio lateral conferem regiões de menor resistência. Já de acordo com Ghavami e Marinho (2005), os maiores valores de resistência à tração são encontrados nas regiões internodais, visto que nos nós há descontinuidade das fibras, ou seja, quando as regiões nodais são submetidas ao carregamento, formam-se zonas de concentração de tensões que provocam a ruptura da peça.

As fibras no bambu se organizam paralelamente ao eixo do colmo, o que resulta em uma notável resistência à tração longitudinal. Conforme indicado por Lima, Willrich e Fabro Jr (2005), as fibras desempenham um papel crucial na resistência estrutural do bambu, geralmente representando uma proporção de 40% a 90% na parte externa e 15% a 30% na parte interna. A disposição das fibras ao longo do eixo do colmo contribui para uma alta capacidade de resistência à tração longitudinal, e essa característica é significativamente superior quando comparada a outros materiais, podendo alcançar valores impressionantes, como até 370 MPa⁸ em algumas espécies de bambu. Isso o torna um atrativo material substituto para o aço, especialmente quando for considerada a razão entre sua massa específica e sua resistência à tração.

⁸ MPa é uma unidade de medida de pressão do sistema internacional.

B. Resistência à compressão

O caule do bambu exibe uma notável variação em sua composição ao longo de sua extensão, levando a uma diversidade de comportamentos quando submetido a testes de carga. Os resultados encontrados na literatura divergem consideravelmente devido à falta de padronização nos procedimentos de teste. No entanto, é possível observar que os resultados para o bambu processado (como o laminado colado) tendem a ser mais uniformes, uma vez que as variações presentes no caule podem ser mitigadas durante o processo de fabricação do material.

Conforme discutido por Beraldo e Carbonari (2019)⁹, testes realizados em um segmento curto de caule (com três entrenós) da espécie *G. angustifolia* demonstraram que, no teste de compressão paralela às fibras (Figura 8), a carga de ruptura alcançou mais de 40 toneladas-força.

Por outro lado, a compressão perpendicular às fibras não é um tipo de esforço bem adequado o bambu possa suportar. Com exceção das áreas dos nós, o bambu tem uma estrutura tubular com paredes de espessura reduzida, o que limita sua capacidade de resistir a esse tipo específico de força.

De acordo com Maia (2012), estudos acerca da resistência do bambu à compressão constataram que, para corpos de prova de 30 cm de altura com 3 cm de diâmetro, a tensão de ruptura é de 80 MPa e o módulo de elasticidade alcança 20 GPa.

⁹ Discussão apresentada em um capítulo do livro "Bambu: caminhos para o desenvolvimento sustentável".

Figura 8 - Corpo de prova após rompimento
Ghavami, K; Marinho, A.B. (2005)



C. Resistência à flexão

Verifica-se que para essas propriedades mecânicas houve diferença considerando as respectivas diferentes partes do colmo.

Ao suportar cargas de flexão, as tábuas de bambu exibem comportamentos diversos conforme a orientação da casca. Quando a tábua é posicionada com a casca voltada para cima, ela é sujeita a esforços de compressão, resultando em tensões de tração nas fibras internas que, eventualmente, podem levar à ruptura. No entanto, quando a camada externa (casca), que é mais resiliente a esforços de tração, está posicionada para baixo, a tábua deforma-se sem romper. A Figura 9, extraída de um experimento realizado por Beraldo (2008), ilustra a deformação das tábuas quando submetidas à flexão em diferentes direções da casca.

Figura 9 - Flexão estática do bambu. Casca para cima (esquerda) e casca para baixo (direita). Beraldo (2008)



D. Resistência ao cisalhamento

Nos estudos delineados por Ghavami e Marinho (2002), os valores das propriedades do bambu em relação à resistência ao cisalhamento, tanto longitudinal quanto transversal, variaram de 8 MPa a 32 MPa. Em comparação, em estudos sobre madeira, os valores observados ficaram entre 5,6 MPa e 15,7 MPa (BERALDO, 2008)

E. Peso específico

O peso específico é uma propriedade física importante não somente para avaliar o peso das estruturas, mas também na relação entre as propriedades mecânicas, como a de resistência a tração, o que pode indicar possibilidades de aplicação direta ou em conjunto com materiais convencionais da construção civil, sem perder a resistência final pretendida (BERALDO *et al.*, 2006).

O peso específico do bambu é de aproximadamente $0,6 \text{ g/cm}^3$ ou 600 Kg/m^3 e varia de acordo com a espécie, sendo 680 Kg/m^3 para a espécie *Bambusa vulgaris*. Em comparação com outros materiais, o bambu apresenta uma vantagem notável. Ele é cerca de 11 vezes mais leve que o aço e aproximadamente 3 vezes mais leve que o concreto simples. (HIDALGO-LOPEZ, 2003).

Vale ressaltar que as propriedades mecânicas e físicas do bambu (Quadro 3) podem variar dependendo da espécie, idade, tratamento e condições de crescimento. No entanto, em geral, o bambu apresenta uma excelente relação resistência-peso, é renovável e sustentável, além de possuir propriedades únicas, como alta flexibilidade e resistência a terremotos.

Quadro 3 - Comparativo das propriedades mecânicas e físicas do bambu em comparação com outros materiais comuns de construção:
Autor (2023).

Propriedades	Bambu	Concreto	Aço	Madeira
Resistência à Tração (MPa)	Alta	Baixa	Alta	Média
Resistência à Compressão (MPa)	Média-Alta	Alta	Alta	Média-Alta
Peso Específico (kg/m ³)	Leve	Alto	Médio	Médio
Dureza (Janka, N)	Variável	-	-	Variável
Durabilidade (em anos)	Variável	Longa	Longa	Variável
Condutividade Térmica (W/m·K)	Baixa	Moderada	Alta	Baixa
Expansão Térmica (10 ⁻⁶ /°C)	Baixa	Média	Alta	Média
Biodegradabilidade	Alta	Baixa	Não	Variável
Facilidade de Manuseio	Alta	Média-Alta	Alta	Média-Alta
Custo (em comparação)	Moderado	Variável	Alto	Variável
Renovabilidade	Sim	Não	Não	Sim

2.2 Oportunidades e Riscos

2.2.1 Bambu - Tratamento de Efluentes Domésticos

A ausência de tratamento de águas residuais provenientes de domicílios é reconhecida como um dos principais desafios ambientais nas áreas urbanas. A disposição final dos resíduos líquidos urbanos é frequentemente direcionada para corpos d'água de maior porte. Isso resulta em consequências indesejadas, como odores desagradáveis e a contaminação das águas, conforme discutido por Almeida (2014).

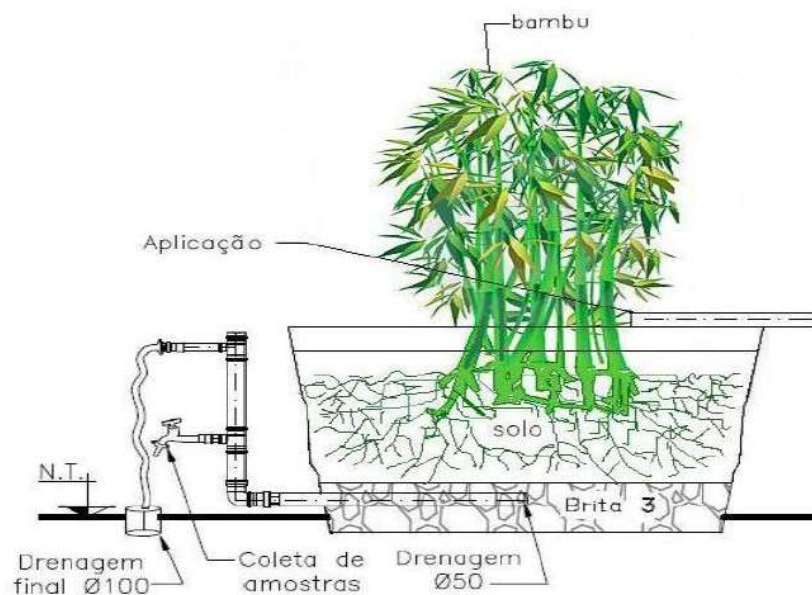
A quantidade substancial de esgoto despejada em corpos d'água sem passar por qualquer forma de tratamento é motivo de crescente preocupação. No contexto brasileiro, o método predominante de tratar os efluentes domésticos se restringe às estações de tratamento de esgoto. Essas instalações coletam os efluentes urbanos e os processam em um único local centralizado, como observado por Galvão (2009).

A utilização de plantas no tratamento de resíduos domésticos constitui uma tecnologia emergente de custo acessível e eficácia comprovada, surgindo como uma alternativa promissora aos sistemas tradicionais. Conforme discutido por Almeida

(2014), as plantas desempenham um papel significativo na depuração de esgotos, contribuindo para a remoção de material orgânico, nutrientes e metais. Por outro lado, elas servem como suporte para o desenvolvimento de biofilmes, como apontado por Zanella (2008).

Quando os efluentes líquidos são despejados diretamente em um corpo d'água ou no solo, isso resulta na degradação e contaminação do ambiente. Para prevenir esses impactos ambientais, é necessário recorrer a técnicas de tratamento dos resíduos, embora frequentemente essas abordagens sejam dispendiosas e nem sempre atinjam os níveis desejados de eficiência. No entanto, há alternativas viáveis que podem tratar de forma eficaz os esgotos a um custo mais acessível, como é o caso dos sistemas de zonas úmidas construídas. (Figura 10).

Figura 10 - Vista em corte de alagados construídos do sistema de tratamento de esgoto QUEGE *et al* (2013)



A fitorremediação é uma abordagem que se fundamenta na utilização de plantas para absorver, metabolizar, eliminar ou fixar certos poluentes orgânicos ou inorgânicos que se acumulam na água, no solo ou até mesmo no ar. Quando esses contaminantes ultrapassam níveis específicos, podem causar alterações na qualidade desses meios, resultando em potenciais efeitos adversos à saúde, bem-estar de seres humanos, animais e até mesmo plantas.

A fitorremediação, um método ecologicamente favorável e de baixo custo, oferece uma solução para a descontaminação de solos e águas poluídas por uma variedade de substâncias prejudiciais (GRATÃO, 2005). No contexto específico do bambu, diversos estudos têm examinado seu potencial para fins de fitorremediação (QUEGE, 2013; ALMEIDA, 2014). Apesar de se conhecer a habilidade dos bambus em purificar águas contaminadas por esgoto, ainda existem lacunas nas pesquisas no que diz respeito a quantificar a contribuição de várias espécies de bambu dentro desse amplo grupo de plantas que tem potencial para serem utilizadas nesse processo.

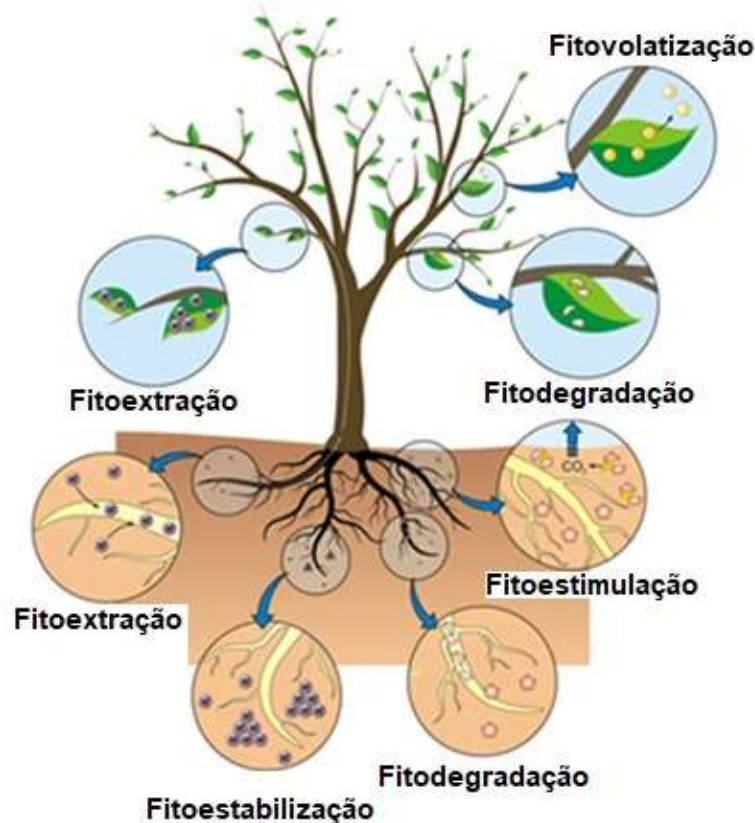
A fitorremediação é uma técnica que envolve a utilização de determinadas espécies de plantas, e em certos cenários, em conjunto com microrganismos, para controlar ou remover poluentes, variando conforme o tipo de contaminante em questão e as condições ambientais predominantes.

Com os avanços científicos, foram desenvolvidos mecanismos específicos de fitorremediação os quais são empregados de acordo com o tipo de contaminante, a área da planta e o objetivo desejado: fitodegradação, fitoestimulação, fitovolatilização, fitoestabilização, fitoextração e rizofiltração (Figura 11).

- A. **Fitodegradação:** é o processo de degradação de poluentes no solo ou na água por plantas, com o auxílio de microrganismos associados às raízes. As plantas absorvem os poluentes do solo ou da água, metabolizam e transformam em substâncias menos tóxicas ou inertes. (ABROL, 2012)
- B. **Fitoestimulação:** é o uso de plantas para estimular a biodegradação de poluentes no solo ou na água, sem absorção ou acumulação desses poluentes pelas plantas. As plantas liberam compostos orgânicos através das raízes ou da exsudação foliar, que estimulam o crescimento e a atividade de microrganismos degradadores. (SCHNOOR, 2000).
- C. **Fitovolatilização:** é o processo pelo qual as plantas absorvem poluentes do solo ou da água e os transformam em substâncias voláteis que são liberadas na atmosfera. Esse processo é utilizado para remover poluentes que são solúveis em água, mas não são facilmente biodegradáveis. (US Environmental Protection Agency, 2000)

- D. **Fitoestabilização:** é o processo pelo qual as plantas absorvem poluentes do solo ou da água e os mantêm em sua estrutura, sem transformá-los ou removê-los. Esse processo é utilizado para evitar a migração de poluentes para outras áreas, reduzindo o risco de contaminação. (US Environmental Protection Agency, 2000)
- E. **Fitoextração:** é o processo pelo qual as plantas absorvem poluentes do solo ou da água e os acumulam em sua estrutura, removendo-os do ambiente. As plantas são posteriormente removidas e os poluentes são recuperados ou tratados. Esse processo é utilizado para remover poluentes que são solúveis em água e facilmente absorvidos pelas plantas. (US Environmental Protection Agency, 2000)
- F. **Rizofiltração:** é o processo pelo qual as raízes das plantas absorvem poluentes do solo ou da água, sem absorção ou acumulação desses poluentes pelas plantas. As raízes atuam como filtros, retendo os poluentes e permitindo a passagem do ar ou da água. (US Environmental Protection Agency, 2000)

Figura 11 - Exemplos de fitorremediação relativas a cada parte da planta.
Medeiros, 2015.



A eficiência da utilização do bambu como agente fitorremediador pode variar dependendo das condições do ambiente contaminado e do tipo de contaminante presente. Entretanto, existem algumas pesquisas que indicam que o bambu pode ser eficiente na remediação de alguns tipos de contaminantes.

Um trabalho publicado na revista *Environmental Science and Pollution Research*¹⁰ avaliou a eficiência do bambu na remediação de solo contaminado com chumbo e concluiu que o bambu foi capaz de reduzir significativamente a concentração do contaminante no solo. Outro estudo publicado no *Journal of Environmental Management*¹¹ avaliou a eficiência do bambu na remediação de água contaminada com nitrato e concluiu que o bambu foi capaz de reduzir significativamente a concentração do contaminante na água.

Além disso, o bambu se destaca por seu crescimento rápido e pela sua capacidade de absorver água e nutrientes de maneira eficaz. Essas características tornam o bambu uma opção promissora para a fitorremediação. No entanto, é importante lembrar que a eficiência da fitorremediação depende de muitos fatores, isto é, o tipo e a concentração do contaminante, o tipo de solo ou água contaminada, a espécie de bambu utilizada e as condições ambientais, entre outros fatores. Portanto, é necessário realizar mais estudos para avaliar a eficiência do bambu em diferentes situações de contaminação e para determinar as melhores práticas de utilização do bambu como agente fitorremediador.

2.2.1.1 O Método

Um estudo foi conduzido em uma estufa localizada no Campus Sede da Universidade Federal do Acre (UFAC) em Rio Branco, Acre, durante o ano de 2020. O método de tratamento investigado consistiu em uma reprodução de um sistema de hidroponia¹² criado utilizando garrafas PET recicladas interconectadas através de mangueiras de silicone.

¹⁰ O estudo foi publicado na revista *Environmental Science and Pollution Research* em março de 2019. O título do artigo é "Phytoremediation of lead-contaminated soil using bamboo: A comparative study on two species of bamboo". Os autores são Tingting Li, Zhenjie Wang, Yongjian Wu, Chang Liu e Xiaoxue Liu.

¹¹ O estudo foi publicado no *Journal of Environmental Management* em outubro de 2019. O título do artigo é "Bamboo phytofiltration of nitrate: Effects of light intensity, nitrogen level and initial nitrate concentration". Os autores são Xin Wang, Linzhang Yang, Linyan Wang, Tingting Liu e Yu Liu.

¹² A hidroponia é um método de cultivo de plantas sem solo, em que as plantas são cultivadas em água com nutrientes.

Para o processo de coleta da água bombeada do esgoto, foram utilizados dois tanques de plástico com capacidade de 50 litros cada. Um dos tanques foi destinado ao tratamento de fitorremediação, enquanto o outro foi reservado para o processo de controle. Ainda, uma mini bomba automática foi empregada para transferir a água contaminada para o interior do sistema. O efluente doméstico foi adquirido diretamente da rede de esgoto ao ar livre localizada no bairro Tucumã, em Rio Branco, Acre. O método de tratamento com as plantas foi categorizado como primário, caracterizado por ser predominantemente um processo biológico, conforme a definição de Von Sperling (1998).

A introdução do esgoto experimental no sistema foi feita manualmente em dois tanques posicionados na base do experimento. Na sequência, a transferência do esgoto bruto ocorreu por meio de uma bomba localizada dentro de um dos tanques, de modo a permitir a distribuição da água contaminada por toda a amostra experimental. Os módulos de tratamento totalizaram 50 e estavam distanciados a 20 cm uns dos outros. Os brotos de bambu (*Bambusa vulgaris var. vittata*) foram cultivadas e colhidas no núcleo de cultivo da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC), conforme Figura 12.

Figura 12 - Plantação de *Bambusa vulgaris var. vittata*
INBAR (1998)



Mudas de bambu (*Bambusa vulgaris* var. *vittata*) foram transplantadas nos módulos de tratamento, uma muda por módulo (50 módulos), exceto no módulo responsável pela distribuição da água de esgoto para os demais. Sete dias após a configuração do experimento, foram coletadas amostras de esgoto de cada um dos tanques, tanto do grupo de controle quanto do grupo tratado com bambu. As amostras de esgoto passaram por testes físicos e biológicos na UFAC conforme orienta Macedo (2001), ao mesmo tempo em que as análises químicas eram realizadas no Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas (LABRAS). Os resultados dessas análises foram empregados para calcular a eficiência na remoção dos atributos presentes no esgoto.

O oxigênio dissolvido (OD) reflete o nível de oxigênio presente na água, sendo um indicador crucial da sua qualidade (CETESB, 2021). Para organismos aquáticos que dependem de oxigênio, como seres aeróbicos, a existência de oxigênio dissolvido é de extrema importância. A Tabela 1 apresenta os valores de OD em mg/L e da contagem de microrganismos pelo número mais provável (NMP/ml) nas amostras de testemunha com bambus. O oxigênio dissolvido é incorporado à água por meio da fotossíntese, pela ação de dispositivos aeradores ou pela simples interação com o ar atmosférico. Quanto maior a concentração de oxigênio dissolvido, melhor é a qualidade da água. Essa medida é de suma importância para determinar as condições sanitárias de corpos d'água superficiais. O OD é especialmente significativo na avaliação dos impactos de descargas poluentes (de natureza orgânica) nos corpos d'água, servindo como um indicador do ecossistema aquático e auxiliando na análise dos processos de autodepuração (CETESB, 2021).

Tabela 1 - Valores de oxigênio dissolvido e da contagem de microrganismos nas amostras com bambus. CETESB, 2021

Parâmetros	Tratamentos	
	Testemunha	Com Bambus
OD (mg/L)	2,35	3,05
NMP/ml	110,0	13,0

O menor índice de OD necessário para a preservação da vida aquática, conforme determinado pela Resolução CONAMA 357/05¹³, é de 5,0 mg/L. No entanto,

¹³ Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

há variações na tolerância a essa concentração entre diferentes espécies. Por exemplo, as carpas possuem a capacidade de sobreviver em concentrações de OD de até 3,0 mg/L. A carpa comum, em particular, é conhecida por ser capaz de sobreviver até 6 meses em águas de temperatura baixa com concentrações de OD inferiores a 2,0 mg/L (anoxia).

Assim, o tratamento com bambu apresenta eficácia na remoção ou precipitação de alumínio presente na água de esgoto. No Parque Tucumã, em Rio Branco, Acre, por exemplo, os níveis de alumínio foram identificados em valores elevados, atingindo 3,09 mg/L nas águas de esgoto (Figura 13). É relevante observar que a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece um limite máximo de 0,2 mg/L para a concentração de alumínio em água potável, e essa restrição é também adotada pela legislação brasileira (Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de agosto). Por outro lado, metais como chumbo, cádmio e níquel não foram detectados em quantidades consideráveis nos efluentes do Parque Tucumã.

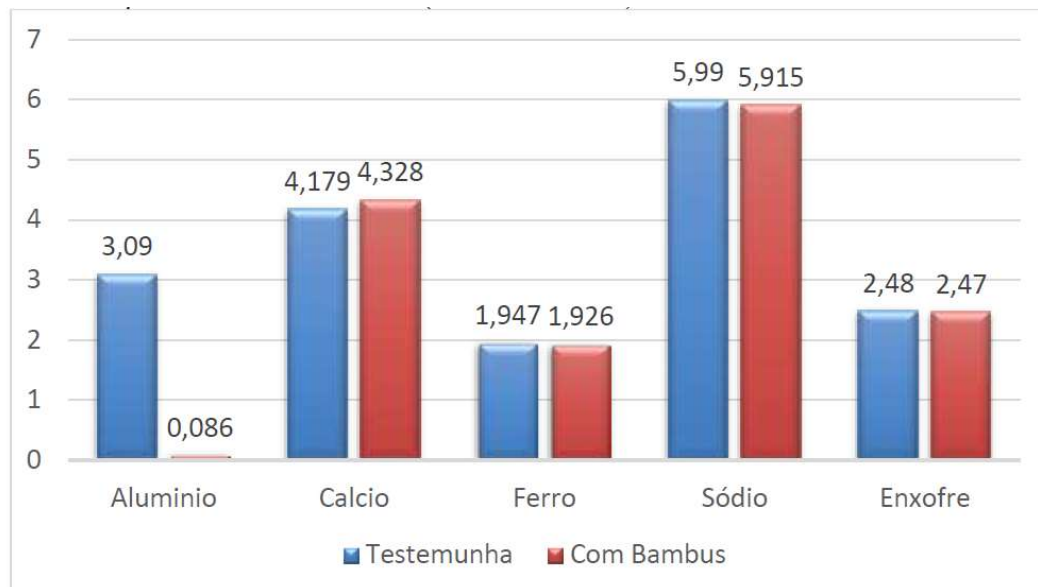
É claro que o tratamento com bambu implementado no estudo teve um impacto significativo na redução da concentração de alumínio nas águas residuais, diminuindo-a de 3,09 mg/L para 0,086 mg/L. Diversas espécies de bambu já foram examinadas em análises de fitorremediação, tais como *Guadua angustifolia* e *Phyllostachys bambusoides* (BARROS, 2007; QUEGE, 2011); *Bambusa vulgaris* var. *vittata* e *Phyllostachys praecox* (ASAMOAHA *et al.*, 2012). No contexto da espécie *Bambusa vulgaris* objeto deste estudo, foi identificado que ela pode absorver metais como cádmio, chumbo e níquel (ASAMOAHA *et al.*, 2012). No entanto, até então, não havia sido reconhecido o potencial do bambu para a remoção ou precipitação de alumínio em efluentes domésticos.

De acordo com WALTER e BACK (2009), todo componente químico se torna tóxico quando é absorvido em quantidades que ultrapassam a capacidade de absorção do organismo receptor. Já o alumínio, sua existência em níveis elevados no corpo podem acarretar efeitos neurotóxicos e interferir na formação dos ossos e no aparelho reprodutor (ALCÂNTARA, 2014). Assim sendo, a fitorremediação, empregando a espécie de bambu *Bambusa vulgaris*, emerge como uma tecnologia promissora para a remoção ou precipitação de metais presentes em efluentes, especialmente aqueles que podem ser prejudiciais à saúde humana.

Conclui-se que o sistema de tratamento baseado na fitorremediação demonstra ser altamente eficaz na remoção de poluentes presentes no esgoto doméstico, incluindo notavelmente o alumínio. Além disso, o tratamento com bambu exibiu potencial na redução de micro-organismos presentes no esgoto contaminado. É importante ressaltar que, também foi observado que os níveis de oxigênio dissolvido no sistema efluente tratado com bambu foram superiores se comparado com o tratamento de controle.

Observa-se na Figura 13 que a concentração de metais e nutrientes (em mg/L) na água de esgoto não tratada (barras em azul) e depois do tratamento utilizando bambus (barras em vermelho).

Figura 13 - Concentração de metais e nutrientes (em mg/L) na água de esgoto não tratada (barras em azul) e depois do tratamento.
Silva *et. all*, 2021.



Analisando a Figura 13, pode-se concluir que o sistema de tratamento com fitorremediação mostra-se eficiente na remoção de poluentes do esgoto doméstico, tais como o alumínio. Contudo, o tratamento do bambu mostrou potencial na redução de microrganismos do esgoto contaminado, sendo também observado que o valor do oxigênio dissolvido no efluente do sistema tratado com bambu foi maior em relação ao tratamento testemunha.

2.2.2 Bambu - Agente Sequestrador de Carbono

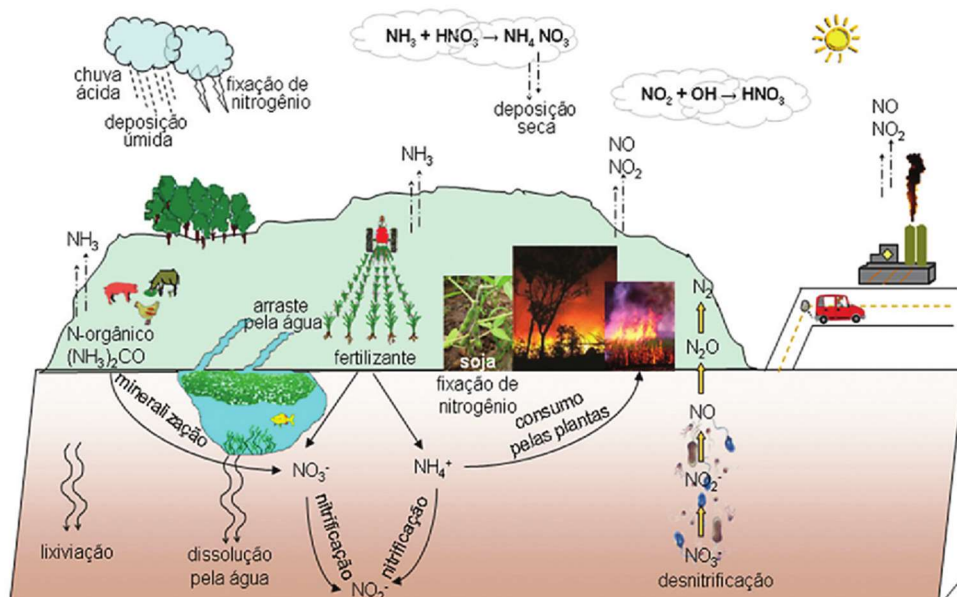
Os problemas globais mais urgentes são desafios que afetam a humanidade como um todo e demandam ação imediata para garantir um futuro sustentável. Alguns exemplos desses problemas incluem (OLIVEIRA *et al.*, 2006):

- a) Chuvas ácidas: atribuídas a emissões de dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos nítricos (NO_x) (em fundições de minérios, caldeiras industriais, e veículos automotores), podem ser transportados por grandes distâncias pela atmosfera e depositados via precipitação. Os efeitos das chuvas ácidas incluem a acidificação de lagos, rios e lençóis freáticos, prejudicando a vida subaquática, a agricultura e as florestas, assim como a degradação de vários tipos de materiais (materiais construtivos, estruturas metálicas, tecidos, etc);
- b) Destruição da camada de ozônio: através da camada de ozônio é absorvida uma parte importante da radiação ultravioleta (UV) e da radiação infravermelha. Sem essa proteção podem observar o aumento de ocorrências de câncer de pele, lesões nos olhos e outros prejuízos para muitas espécies biológicas. Através da combustão de combustíveis fósseis e de biomassa, são enviadas, para a atmosfera valores substanciais de clorofluorcarbonos (CFCs - utilizados em condicionadores de ar e em equipamentos de refrigeração) que desempenham uma função relevante na destruição da camada de ozônio;
- c) Efeito estufa: as mudanças climáticas globais são ocasionadas pelo acréscimo na presença de gases responsáveis pelo efeito estufa (tais como CO₂, CH₄, CFCs, N₂O, entre outros) na atmosfera. Esses gases, em grande parte derivados da queima de combustíveis fósseis, podem reter a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, o que culmina no aumento da temperatura à superfície do planeta.

Na Figura 14 é representada a ação do CO₂ como responsável pelo efeito estufa e a relação do aumento da emissão deste gás com o aquecimento global respectivamente.

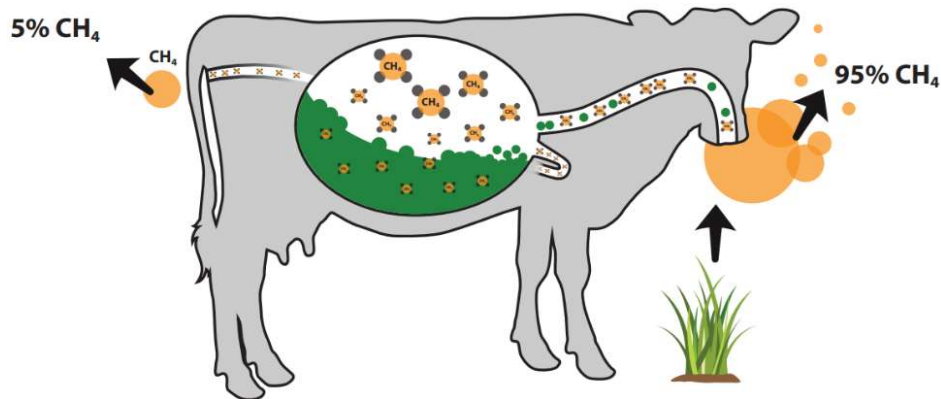
Um outro tipo de emissão de gases nocivos ao efeito estufa e, de relevância no Brasil, é aquela proveniente da ação dos ruminantes. O país possui o maior rebanho bovino comercial do mundo.

Figura 14 - Esquema de armazenagem e fluxo de carbono no sistema Terra/Atmosfera
Google Imagens



O metano é um gás de efeito estufa extremamente potente e desempenha um papel significativo no aquecimento global. O metano faz parte dos gases liberados pelas vacas e presente também em seus dejetos. Cada vaca tem a capacidade de gerar 500 litros de metano diariamente, e considerando a presença de mais de um bilhão delas globalmente, estratégias têm sido desenvolvidas para gerenciar esse fenômeno e mitigar a produção de metano, dada a preocupação com os riscos associados a essa extensa emissão. A Figura 15 ilustra o processo de produção de metano em um sistema digestivo bovino. Setas indicam que a partir da ingestão de vegetação, simbolizada por um ramo de grama verde, ocorre a emissão de metano gasoso, representado por círculos de cor laranja.

Figura 15 - O processo de produção de metano em um sistema digestivo bovino.
Profissão Biotec (2021)



Os animais ruminantes, como gado, búfalos e ovelhas, emitem metano durante o processo digestivo. Conforme informações do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG)¹⁴, no ano de 2019, a pecuária foi responsável por cerca de 8% das emissões totais de gases de efeito estufa no Brasil, e o metano se destacou como o principal gás emitido nesse setor.

O setor agropecuário desempenha um papel significativo no aumento dos índices das concentrações de gases de efeito estufa (GEE). Isso é evidente também na agricultura. Um exemplo notável é o cultivo de arroz irrigado, que se destaca como uma das principais fontes antropogênicas de emissão de metano para a atmosfera. Embora isso não seja verdade para o Brasil, a situação é particularmente relevante na Ásia, onde o cultivo de arroz é uma atividade agrícola central. Conforme apresentado no relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC)¹⁵ de 1996, a maior parte das emissões de metano provenientes do cultivo de arroz, cerca de 90%, está associada ao continente asiático.

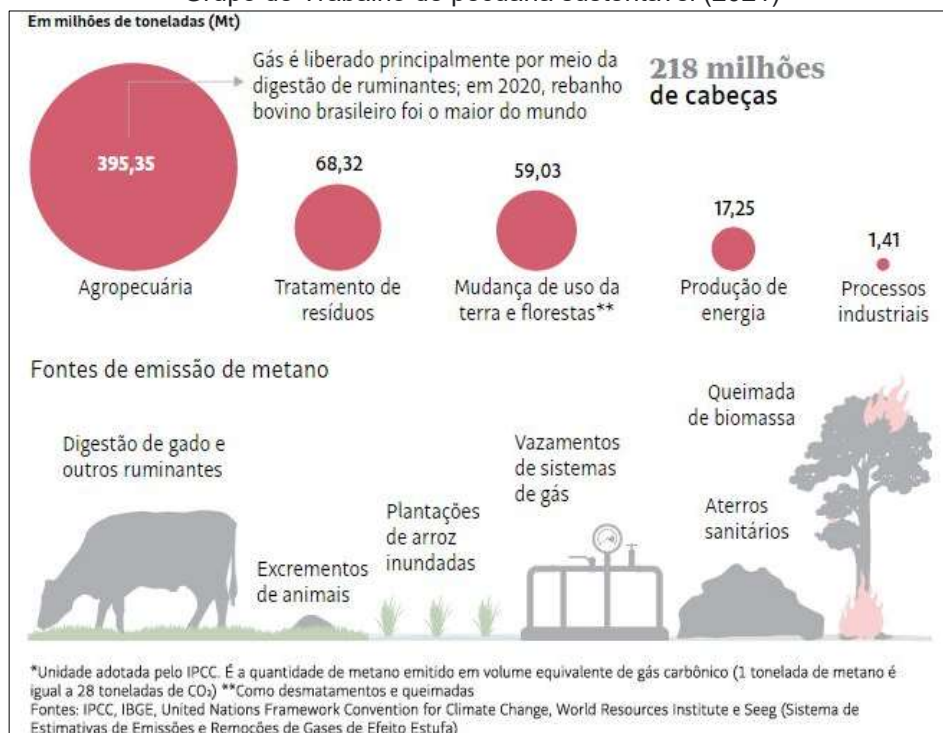
Além do impacto ambiental da emissão de gases de efeito estufa, a pecuária também pode causar desmatamento e perda de biodiversidade, uma vez que a expansão das pastagens e a produção de alimentos para ruminantes podem levar à conversão de áreas naturais, como florestas e cerrados, em áreas de produção agropecuária.

¹⁴ O Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) é uma iniciativa do Observatório do Clima que compreende a produção de estimativas anuais das emissões de gases de efeito estufa (GEE) no Brasil, documentos analíticos sobre a evolução das emissões e um portal na internet.

¹⁵ O IPCC é uma organização científico-política criada em 1988 no âmbito das Nações Unidas (ONU) pela iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM) e elabora Relatórios de Avaliação abrangentes sobre o estado da arte científico, técnico e socioeconômico da mudança do clima, seus impactos e riscos.

No entanto, é importante ressaltar que a pecuária também pode ter impactos positivos, como a promoção da conservação de áreas naturais e a criação de oportunidades de trabalho e fontes de renda nas comunidades rurais. É possível mitigar o impacto ambiental da pecuária por meio de práticas sustentáveis, como o manejo adequado das pastagens, a redução do desperdício de alimentos e a utilização de tecnologias mais eficientes para a produção de alimentos para ruminantes (Figura 16).

Figura 16 - Emissão de gas metano de 1990 a 2019 no Brasil
Grupo de Trabalho de pecuária sustentável (2021)



2.2.2.1 O Sequestro de Carbono

O Sequestro de Carbono (“Mecanismo de Desenvolvimento Limpo”) é um termo utilizado para indicar a saída do gás carbônico (CO₂) da atmosfera e transformação do mesmo em oxigênio (O₂). Esta técnica já é feita de forma espontânea pelos solos, oceanos e florestas onde os micro-organismos e os organismos, através da fotossíntese, prendem o carbono e soltam o oxigênio na atmosfera. É o sequestro e estocagem de gás carbônico (CO₂) que impede sua emissão e permanência nos ares. (AMADO, 2001)

A relevância da captura de carbono para o fenômeno do efeito estufa desempenha um papel crítico dentro do contexto das mudanças climáticas e do aumento da temperatura global. O efeito estufa, um processo natural, ocorre quando

certos gases presentes na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), retêm o calor do sol na Terra, mantendo, assim, a temperatura média do planeta em níveis compatíveis com a vida. Contudo, as emissões desses gases de efeito estufa têm envolvido nosso planeta, prendendo o calor solar e desencadeando o fenômeno do aquecimento global, que por sua vez está acarretando em mudanças climáticas. Atualmente, o mundo enfrenta um aumento de temperatura mais rápido do que em qualquer período anterior registrado na história.

No entanto, nas últimas décadas (Site 30 - MCTI, 2014), a atividade humana tem aumentado significativamente a concentração desses gases de efeito estufa na atmosfera, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis, desmatamento, agricultura intensiva e outras atividades industriais. Esse aumento exacerbou o efeito estufa, levando a um aquecimento global, com consequências potencialmente devastadoras para o clima e o meio ambiente.

À medida que a concentração dos gases do efeito estufa aumenta, o resultado direto é o aumento da temperatura na superfície global da Terra. A última década, compreendendo o período de 2011 a 2020, estabeleceu-se como a mais quente já registrada. Desde a década de 1980, tem-se observado um padrão de cada década sendo mais quente do que a anterior. Isso se apresenta em quase todas as regiões do mundo experimentando mais dias de calor intenso e períodos de ondas de calor prolongadas. O aumento nas temperaturas também traz consigo consequências significativas, como o aumento das doenças relacionadas ao calor e a dificuldade de realizar atividades ao ar livre devido ao desconforto térmico.

Além disso, as temperaturas mais elevadas têm contribuído para a propagação mais fácil e rápida de incêndios florestais quando as condições se tornam mais quentes e secas. Um exemplo notável é o Ártico, onde as temperaturas têm aumentado a uma taxa pelo menos duas vezes superior à média global.

Diversas medidas foram sugeridas no Tratado de Kyoto de 1997 a fim de reduzir os níveis de CO₂ na atmosfera. Naquela ocasião, foi estabelecido um objetivo para os países desenvolvidos de diminuir em 5% as emissões de gases de efeito estufa até 2012. Durante a conferência da ONU sobre mudanças climáticas realizada em Copenhague em 2009, o governo brasileiro divulgou uma meta voluntária de redução das emissões entre 36,1% e 38,9% até 2020. Na COP26, que ocorreu em

2021 em Glasgow, Escócia, o Brasil assumiu um novo compromisso de diminuir em 50% das suas emissões de GEE até 2030. O Pacto de Glasgow também lista os países que precisam acelerar a transição para fontes de energia de emissão reduzida, incluindo um firme compromisso com a gradual eliminação de usinas de carvão que não empregam tecnologias como a captura e armazenamento de carbono (CCS) e a captura e utilização de carbono de maneira concomitante (CCUS).

Para minimizar o teor de dióxido de carbono na atmosfera há dois cenários possíveis: a redução das emissões do gás ou a contenção do dióxido de carbono produzido em excesso, o chamado sequestro de carbono.

De acordo com Coltri (2013), que tem se dedicado a pesquisar a viabilidade do uso de coeficientes de vegetação para avaliar a biomassa e o potencial de armazenamento de carbono em plantações de café, a captura de carbono refere-se à quantidade de carbono que uma planta retira do ambiente e incorpora à sua biomassa. No entanto, a medição do fluxo de carbono se refere à quantidade de carbono livre presente no ambiente que a planta utiliza no processo de fotossíntese. Quando se utiliza o bambu, ou qualquer outra planta, na fabricação de produtos como móveis, por exemplo, está efetivamente retendo o carbono e contribuindo para a mitigação de problemas ambientais.

Contudo, o estoque de carbono presente na biomassa da planta, que permanece armazenado permanentemente no tronco, ramos e folhas, só é perdido quando ocorre o abate ou a queima da peça. "Calcula-se que aproximadamente 50% da biomassa de uma planta seja constituída por carbono, embora esse valor possa variar de acordo com a espécie", conforme as declarações da pesquisadora.

Durigan (2004) observa que a taxa de absorção necessita de três motivos: da temperatura, que se altera conforme a disponibilidade de nutrientes de água do meio e do tipo de vegetação, (florestas homogêneas ou geneticamente modificadas retêm o carbono em até 10 vezes mais rápido do que florestas naturais) e além disso, do armazenamento de carbono na atmosfera, quanto mais elevada é a concentração, mais veloz é a fixação.

Ao longo do processo de crescimento das plantas, o bambu desempenha um papel crucial ao retirar o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera. De acordo com as descobertas de WANG (2008) em pesquisas realizadas na China, é evidente que uma

floresta de bambu tem a capacidade de absorver aproximadamente 46% mais carbonos durante sua fase de rápido crescimento em comparação com o pinheiro chinês, além de superar em 33% uma floresta tropical de montanha no mesmo aspecto. Tanto o eucalipto quanto o bambu contribuem para a redução do carbono na atmosfera, uma vez que incorporam esse elemento em sua biomassa viva. Para avaliar o potencial de captação de carbono pelo bambu, a análise se baseia na comparação entre a quantidade de carbono armazenada na madeira e no bambu e o volume total de CO₂ emitido ao longo de sua cadeia de produção, conforme destacado por Hernandez (2015).

O estudo de Delgado (2011) apresenta uma análise elementar tanto do bambu quanto do eucalipto. Na análise, a alteração de carbono entre os dois tipos de vegetais analisados foi de 2,7%. Logo, considerando desprezível a diferença entre a quantidade de carbono do bambu quanto do eucalipto, aplicou-se a mesma equação de Reis et al. (SILVA *et al.*, 2021) para ambos. De acordo com esse cálculo, a quantidade carbono (C) apresentada é 50% do peso da madeira. Dessa forma, tanto 1 tonelada de bambu quanto 1 tonelada de eucalipto têm 0,5 tonelada de carbono.

Entretanto, visto que para cada 1 kg de carbono (C) obtém-se 3,67 kg de CO₂eq₂, cada tonelada de bambu ou eucalipto armazena-se 1.835 kg de CO₂eq.

A pesquisa das potencialidades do bambu, neste cenário, como um vegetal classificado como C4¹⁶, é altamente relevante.

Diante disso, juntamente à exploração do bambu como material para a construção sustentável de produtos, é relevante a demanda de pesquisas relacionadas à medição do carbono.

2.2.2.2 O Método

O objetivo principal da UNFCCC¹⁷ é equilibrar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em um nível apropriado que dificulte interferências perigosas no sistema climático. Desde sua criação, a UNFCCC tem sido o principal fórum internacional para a negociação e adoção de acordos e medidas para combater as mudanças climáticas. A UNFCCC estabeleceu os fundamentos e orientações para

¹⁶ A denominação C4 refere-se ao número de átomos de carbono presentes no primeiro produto de fixação do CO₂

¹⁷A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC), em inglês United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), é um acordo internacional estabelecido em 1992 pela Organização das Nações Unidas (ONU) para coordenar as ações globais na luta contra a mudança do clima.

iniciativas futuras, entre as quais se incluem o Acordo de Paris, que foi ratificado em 2015 com o objetivo de conter o aumento da temperatura global para um nível menor de 2 graus Celsius acima dos níveis observados antes da industrialização.

A maior parte dos cálculos realizados a partir da biomassa são através de uma metodologia validada internacionalmente, aprovada em 2005 pela UNFCCC, que acompanha e controla o estoque de carbono em florestas. O mesmo processo metodológico utilizado no cálculo da biomassa em árvores que pode ser utilizada para calcular a biomassa do bambu.

O cálculo do teor de carbono é realizado por meio da biomassa e baseia-se na dimensão das plantas em uma determinada região. É um cálculo pouco científico e sugestionado por diversas razões, como a taxa de luminosidade, a temperatura da região analisada, a maturidade da planta e a influência de outras plantas na região estudada. Esse cálculo consiste em selecionar uma determinada área de uma floresta ou plantação, e apontar as dimensões e o peso de todo vegetal apresentado naquela região, como no caso do bambu considera-se os caules, folhas, galhos e, inclusive, raízes. Na sequência, é utilizada uma equação matemática que resultará na quantidade de carbono naquela região. Neste cálculo são consideradas as modificações de densidade aparente e de espessura da camada analisada.

Este método relaciona muitas variáveis que o induzem sendo, por consequência, um método indeterminado e pouco confiável. A separação das amostras por idade é uma prática adotada por um número limitado de pesquisadores. São consideradas todas as espécies naquela determinada região, e muitas vezes existem outros tipos de plantas que, conforme o método, devem ter suas medidas consideradas também. No entanto, um grupo de cientistas conduziu análises em uma mesma plantação, mas em áreas próximas, resultando em conclusões amplamente divergentes. Isso ocorreu devido à variação na incidência direta de luz solar entre as diferentes áreas, seja devido à presença de vegetação mais alta ou às características geográficas do local. Além disso, um aspecto crucial a ser levado em consideração é que as equações utilizadas se baseiam em padrões internacionais, o que significa que não são formuladas com base nas condições adequadas de clima e solo. Como resultado, essas equações podem levar a uma subestimação ou superestimação da biomassa analisada.

Segundo Delgado (2011), na Universidade Paulista (2009), foi realizada uma investigação que envolveu a medição do fluxo de dióxido de carbono (CO₂) em três etapas distintas em uma plantação comercial de bambu: implantação, adaptação e operação. O objetivo dessa pesquisa foi realizar uma análise abrangente das quantidades de CO₂ liberadas e armazenadas no durante um período de 25 anos de vida útil da plantação. O propósito principal foi determinar a taxa real de absorção de carbono em uma plantação de bambu, visando avaliar o potencial genuíno desse tipo de plantio. Vale mencionar que uma quantidade considerável de CO₂ é emitida durante o processo de implantação e manutenção da plantação, devido ao uso de insumos como o óleo diesel. Os resultados obtidos revelaram que o bambu é uma planta com um elevado potencial de armazenamento de carbono, com valores variando entre 31.860 e 77.039 kg CO₂ por hectare por ano.

Borges *et al.* (2007) realizaram uma análise da taxa de absorção de dióxido de carbono (CO₂) em várias espécies de microalgas frequentemente utilizadas na agricultura. No estudo, eles mensuraram a taxa de fotossíntese das microalgas e conseguiram quantificar o fluxo de carbono com base nos parâmetros fotossintéticos das curvas Pxl (taxa de fotossíntese em relação à irradiância de saturação). Além disso, eles identificaram o momento mais apropriado do ano para o florescimento de determinadas espécies, considerando condições favoráveis de nutrientes e temperatura. As espécies que exibiram uma taxa de crescimento mais rápida e maior produção de biomassa mostraram um desempenho fotossintético superior e liberaram menos carbono quando atingiram o ponto de saturação de luz máxima, onde ocorre a máxima produção fotossintética. Ao comparar diferentes espécies de microalgas, os pesquisadores determinaram quais delas exibiam as maiores taxas de absorção de CO₂.

Oliveira *et al.* (2006) conduziram um estudo para calcular as emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes da respiração do solo, bem como a quantidade de carbono presente na biomassa em um plantio comercial de seringueiras no estado do Paraná. Eles empregaram o método de Walkley-Black¹⁸, para realizar a análise, moendo as amostras no laboratório e determinando o teor de carbono para cada

¹⁸ O método do Walkley-Black (1934) é o método mais utilizado nos laboratórios brasileiros, pois é de simples execução e dispensa o uso de equipamentos especializados. Pode ser utilizado para determinação do carbono orgânico em solos de apicum e lagoa.

subamostra no Laboratório de Análises de Solo do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR).

Um tipo de procedimento chamado FACE (Enriquecimento de Dióxido de Carbono Livre na Atmosfera) está em andamento nos Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão, Austrália, Itália, Dinamarca e em várias outras nações. O objetivo principal desses estudos é investigar os efeitos do aumento na concentração de CO₂ na atmosfera em plantações. No Brasil, o primeiro experimento FACE da América Latina está sendo implantado nas proximidades da cidade de Jaguariúna, SP, por um grupo de cientistas da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). (HENDREY, 2006).

2.2.2.3 Teor de carbono na biomassa do bambu

Na pesquisa realizada o valor médio do teor de carbono resultante nas amostras de bambu foi de 44,33%. O valor médio da porcentagem de hidrogênio foi de 6% para as mesmas amostras e a porcentagem de nitrogênio foi reduzida em todas as amostras. Ao comparar com serragem de *Eucalyptus sp*, os teores de C, H, e N, apresentaram resultados muito semelhantes. (LANNA *et al.*, 2012)

Assim, considerando as 6 idades diferentes de bambu, foram obtidas 24 subamostras, sendo 4 amostras (uma incluindo todas as partes, uma da parte interna, uma do meio e outra da parte externa) de cada idade. Para facilitar a identificação, as amostras foram codificadas conforme a Tabela 2:

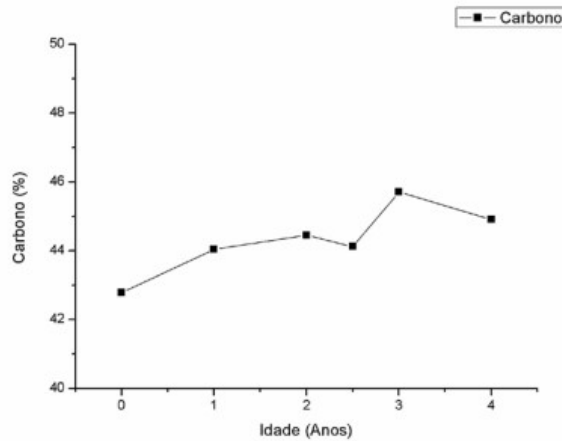
Tabela 2 - Nomenclatura das amostras
Departamento de Química Inorgânica da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

Idade da Amostra	Todas as partes	Parte interna	Meio	Parte Externa
2 semanas	2S _{tot}	2S _{int}	2S _{meio}	2S _{ext}
1 ano	1A _{tot}	1A _{int}	1A _{meio}	1A _{ext}
2 anos	2A _{tot}	2A _{int}	2A _{meio}	2A _{ext}
2,5 anos	2,5A _{tot}	2,5A _{int}	2,5A _{meio}	2,5A _{ext}
3 anos	3A _{tot}	3A _{int}	3A _{meio}	3A _{ext}
4 anos	4A _{tot}	4A _{int}	4A _{meio}	4A _{ext}

A Figura 17 apresenta que o teor de carbono aumenta sensivelmente de 42-43% até 44-45% com a maturidade do bambu. Esses valores foram adquiridos das

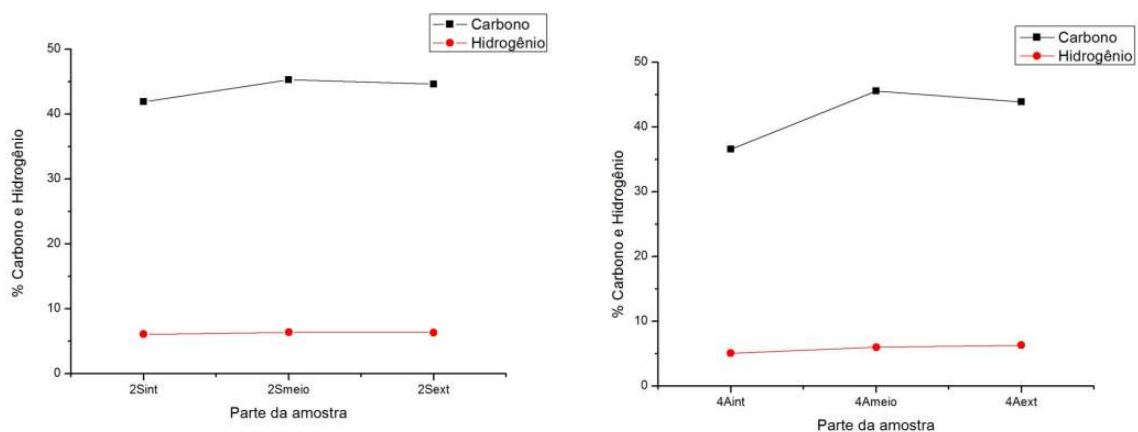
amostras que incluíam todas as seções do colmo de acordo com cada idade (amostras 2S_{tot}, 1A_{tot}, 2A_{tot}, 2,5A_{tot}, 3A_{tot} e 4A_{tot}). Esse aumento leve e pouco significativo indica que o conteúdo de carbono no bambu se mantém constante, independente da sua idade.

Figura 17 - Variação percentual de carbono conforme a maturidade do bambu.
Departamento de Química Inorgânica da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG



Entretanto, quando foram analisadas isoladamente os três pontos principais do caule - parte externa, interna e do meio - verificou-se que o teor de carbono é levemente reduzido na parte interna do caule, porém, esta diferença cresce com a idade do bambu. O mesmo ocorre com os teores de hidrogênio. Na Figura 18 observa-se a variação percentual de carbono e hidrogênio nas diferentes partes do caule de amostras de 14 dias (gráfico lado esquerdo) e 4 anos (gráfico lado direito). Para esta amostra não foram considerados os teores de nitrogênio.

Figura 18 - Variação percentual de carbono e hidrogênio nas diferentes partes do caule
Departamento de Química Inorgânica da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG



2.2.2.4 Estimativa da captação de CO₂ pelo aumento da biomassa do bambu

Cálculos foram realizados observando a velocidade de crescimento do bambu e o conteúdo de carbono armazenado para estimar a quantidade aproximada de dióxido de carbono absorvida (CO₂).

Essa análise está diretamente ligada ao ciclo de produtividade e à taxa de crescimento das espécies, uma vez que quanto mais rápido a planta cresce, maior é a acumulação de biomassa e, conseqüentemente, maior é a capacidade de captura de carbono.

A Figura 19 apresenta o ciclo de produtividade e o ciclo da cultura¹⁹ para três tipos diferentes de plantas: pinus, eucalipto e bambu. Ressalta-se que a produtividade de bambu (40-60 toneladas de carbono por hectare por ano) é aproximada a do eucalipto (30-50 toneladas de carbono por hectare por ano) e maior que a produtividade do pinus. Entretanto, o ciclo cultural do bambu é de apenas 2-6 anos. Isso implica que o tempo de plantio e de colheita do bambu é de 2 a 6 anos enquanto o tempo de plantio e de colheita do eucalipto gira aproximadamente de 7 a 10 anos.

Figura 19 - Comparativo entre Pinus x Eucalipto x Bambu
BAMBUSC (2012).

	Pinus	Eucalipto	Bambu
Ciclo cultural - anos	15-25	7-10	2-6
Produtividade - t/ha.ano	25-35	30-50	40-60

Se uma plantação de bambu produzir, em média, 50 toneladas de bambu por hectare anualmente, e a sua composição conter 44% de carbono, então, aproximadamente, um hectare de bambu retém cerca de 22 toneladas de carbono por ano. Por outro lado, o eucalipto, por exemplo, com uma produção média de 40 toneladas por hectare por ano, armazena em média 17,6 toneladas de carbono por hectare por ano. Isso resulta em uma diferença média de 20% a mais na capacidade de armazenamento de carbono pelo bambu em comparação com o eucalipto.

Ao considerar as taxas médias de produtividade para cada espécie, observa-se que o pinus tem uma média de produção de 30 toneladas por hectare por ano, o eucalipto de 40 toneladas por hectare por ano e o bambu de 50 toneladas por hectare

¹⁹ Ciclo cultural é o período que decorre da sementeira até a colheita.

por ano. Supõe-se que estas três espécies sejam plantadas em uma mesma área ao mesmo tempo. Com base nisso, seria possível realizar o primeiro corte do bambu em dois anos, o primeiro corte do eucalipto em sete anos e o primeiro corte do pinus em quinze anos.

Além disso, de acordo com informações da Associação Catarinense de Bambu, o bambu possui a vantagem de um replantio que se prolonga por mais de 100 anos. Brotos novos emergem espontaneamente a cada ano. Já no caso do pinus, é necessário o replantio após cada corte, o que significa que a cada 15 anos é realizado um novo plantio. Quanto ao eucalipto, ele rebrota após o corte, porém, deve ser replantado após quatro ciclos completos. Dessa forma, o replantio do eucalipto ocorreria no 28º ano.

Considera-se que a média de produção do bambu é de 50 toneladas por hectare por ano e que a colheita pode ser realizada a cada dois anos, a cada colheita estar-se-ia armazenando aproximadamente 45% de carbono por espécie. Para que a porcentagem de carbono armazenado nas espécies pinus e eucalipto se igualasse à porcentagem de carbono armazenado pelo bambu, e considerando que as espécies sejam colhidas no momento ideal e armazenadas corretamente, ao longo de 15 anos ter-se-ia armazenado, aproximadamente, 14 toneladas de carbono pelo pinus, 35 toneladas pelo eucalipto e 154 toneladas pelo bambu.

Analisando novamente a média anual de produção de bambu de 50 toneladas por hectare, é possível concluir que para cada unidade de carbono armazenado, uma molécula de CO₂ foi capturada. Considerando que anualmente se acumulam em média 22 toneladas de carbono em 1 hectare de bambu, e ao multiplicar esses valores pela razão entre as massas molares do CO₂ e do carbono, pode-se concluir que aproximadamente 80 toneladas de CO₂ são sequestradas por ano. Ao realizar os mesmos cálculos comparativos para o pinus e o eucalipto, percebe-se que o pinus armazena uma média de 47 toneladas de CO₂ por ano, enquanto o eucalipto armazena 63 toneladas. Essa diferença justifica a ideia de que o bambu é um sequestrador eficiente de carbono.

A análise revela que, independentemente da idade, o bambu retém aproximadamente 45% de carbono em sua biomassa. Esse valor é bastante comparável à quantidade de carbono armazenada tanto pelo pinus quanto pelo

eucalipto, que são espécies também caracterizadas por seu rápido crescimento e capacidade de sequestro de carbono. No entanto, quando esses dados são avaliados em conjunto com as taxas de crescimento das plantas e sua produtividade anual, fica evidente a notável vantagem que o bambu possui em relação às outras espécies no que se refere ao armazenamento de carbono.

Como ilustrado anteriormente, o carbono capturado e retido na biomassa do bambu permanece preservado, a menos que a planta seja queimada ou decaia naturalmente. Quando o bambu é transformado em produtos, ocorre o armazenamento do carbono, contribuindo para a redução dos impactos ambientais associados à liberação de carbono na atmosfera.

2.2.3 Bambu Na Construção Civil - Bambucreto

O propósito de mitigar as emissões de gases de efeito estufa (ou aumentar a retenção) apresenta desafios e oportunidades para a Engenharia. Alguns dos principais materiais empregados na indústria da construção têm evoluído significativamente, tanto em termos de forma quanto de composição, em resposta à crescente consciência dos consumidores que buscam produtos mais amigáveis ao meio ambiente. De acordo com Agopyane e John (2011), o conjunto de processos que envolve a indústria da construção desempenha um papel fundamental na transformação do ambiente natural em ambiente construído, resultando em impactos negativos significativos na natureza, especialmente devido ao uso extensivo de materiais. Portanto, está se tornando cada vez mais importante buscar um equilíbrio entre qualidade de vida e a necessidade de transformar a cultura, adotar novas tecnologias, revisar a escolha de materiais e promover uma conduta responsável tanto por parte dos envolvidos na construção quanto dos governos.

Nesse contexto, um dos materiais que está ganhando crescente reconhecimento por suas características singulares, que foram pouco exploradas até agora no Ocidente, é o bambu. Este material tem demonstrado diversas vantagens em relação aos materiais convencionais, conforme evidenciado por extensas pesquisas conduzidas internacionalmente por especialistas como Xiao, Sharma, Trujillo e, no Brasil, pelo professor Khosrow Ghavami da PUC-RJ. Apesar disso, ele ainda não recebe a devida atenção em nível nacional. Segundo Krause (2009), o bambu emerge como uma opção sustentável na construção civil, oferecendo inúmeras

vantagens devido às suas propriedades físicas e mecânicas. Embora haja uma carência de normas reguladoras, sua utilização já é amplamente difundida há muito tempo em comunidades na China e na Índia, onde essas construções resistiram até mesmo a terremotos comuns nessas regiões.

No âmbito brasileiro, diversos estudos têm explorado a combinação do concreto com o bambu, denominada de "bambucreto," como uma alternativa à utilização do aço na construção. Conforme apontado por Ferreira (2002), a adoção desse material nas construções se mostra economicamente viável em comparação com o concreto reforçado com aço. No entanto, uma das limitações dessa abordagem é a falta de adesividade entre o bambu e o concreto, bem como a necessidade de conduzir mais pesquisas para determinar as dimensões adequadas dos elementos reforçados com bambu. A Figura 20 ilustra a construção de uma laje de piso de pequena edificação, utilizando a armadura de bambu.

Figura 20 - Armação de bambu em uma laje.
The Constructor (2017)



O uso do bambu como armadura para tem sido praticado empiricamente há séculos e ainda é uma prática comum em áreas onde recursos materiais e técnicos são limitados. No entanto, nos dias de hoje, é importante considerar a utilização de materiais alternativos com base em especificações e estudos técnicos adequados, especialmente quando se trata de garantir a segurança das pessoas envolvidas e a integridade das estruturas.

2.2.3.1 Aderência do Bambu ao concreto

Pereira e Beraldo (2008) realizaram ensaios de tração em ripas laminadas de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* e verificaram que a resistência à tração média das ripas com e sem nós foi de 111,9 e 245,4 MPa, respectivamente. Mesquita

et al. (2006) também mostraram que a resistência à tração da espécie de bambu *Dendrocalamus giganteus* foi de 97 e 277 MPa na região nodal e internodal, respectivamente. Com base nisso, espera-se que a espécie de bambu *Bambusa vulgaris* exiba comportamento semelhante.

Mesquita *et al.* (2006), em testes com corpos de prova de concreto e talas de bambu cravejadas com pinos de aço e bambu, constataram que as posições dos pinos de aço e bambu aumentaram a tensão de adesão em 80 e 50%, respectivamente. Comparando os resultados das lajes com aqueles obtidos por meio de barra de aço liso, os autores verificaram que os pinos de aço e bambu apresentaram tensões de adesão superiores às do aço liso em 25 e 5%, respectivamente.

O uso eficaz do bambu como reforço longitudinal em estruturas de concreto armado pode ser alcançado mediante a devida consideração das condições de segurança definidas. Estudos e testes têm demonstrado a viabilidade de empregar o bambu como reforço tracionado em vigas de concreto isoladas com dois apoios, quando comparado à substituição do aço por tiras de bambu, quer sejam tratadas ou não, ou com um tratamento superficial que envolva o uso de manta asfáltica com areia grossa. (NEVILLE; BROOKS, 2013).

Relacionado aos elementos estruturais de concreto armado sujeitos a flexão, a perda de aderência se manifesta na forma da redução da capacidade desses elementos de manter sua rigidez, conforme apontado por Macgregor (1997). Em busca de soluções para esses desafios, vários pesquisadores ao redor do mundo têm conduzido investigações adicionais sobre esse tópico, incluindo estudos realizados por Lopes et al. (2002), Yu et al. (2003), Lima Jr. et al. (2005b), Mesquita et al. (2006) e Lima Jr. et al. (2008).

2.2.3.2 Comparativo concreto armado vs bambucreto

Conforme Ghavami (2016) descreve, o bambu é um material compósito que consiste em fibras de celulose alinhadas e envoltas em uma matriz de lignina. Essas fibras estão mais densamente concentradas nas regiões próximas à parede externa, proporcionando maior resistência do colmo à pressão dos ventos, e diminuem sua densidade na direção da parede interna. O colmo do bambu pode ser dividido em duas partes distintas, que são os nós e os entrenós.

Os bambus apresentam um crescimento que é estritamente primário, o que difere das árvores, que também têm um crescimento secundário. Isso implica que o diâmetro externo com o qual um bambu emerge, ou seja, seu broto, permanecerá constante durante toda a sua vida. Durante os primeiros anos, o que ocorre é uma densificação da estrutura do colmo, que se completa ao atingir a maturidade. Além disso, o bambu é capaz de atingir sua altura máxima em um curto período de tempo, aproximadamente em três meses. Cada entrenó é oco, enquanto nos nós há uma interseção das fibras de celulose, que se entrelaçam para formar uma espécie de membrana, criando um isolamento entre as partes ocas em cada nó.

No ano de 1979, pesquisadores da PUC-Rio conduziram experimentos utilizando colunas construídas com bambu e compararam-nas com colunas de aço, ambas empregadas em viadutos diferentes (GHAVAMI, 1996). Após um período de 30 anos, observou-se que as colunas de aço apresentavam sérios danos devido à corrosão, enquanto as colunas de bambucreto mantinham condições satisfatórias mesmo após 15 anos. Com base nesses resultados, realizou-se uma análise de custos comparativos entre uma coluna de concreto armado de seção circular e uma coluna de bambucreto de mesma dimensão e espessura.

A coluna de concreto armado de seção circular possui um diâmetro médio de 35 cm, emprega cimento CP25, é classificada na classe de agressividade ambiental II e destinada a um ambiente urbano. A brita utilizada é de tamanho número 1, com consistência S100, e o concreto foi dosado em central e aplicado com bomba. O aço utilizado é do tipo CA-50A. O pilar suporta um piso com altura livre de até 3 m, composto por fôrmas de papelão cilíndricas descartáveis como superfície moldante, sarrafos de madeira serrada e escoras metálicas para apoio vertical. O custo da coluna de concreto armado é detalhado na Tabela 3.

Tabela 3 - Custo de um pilar (coluna) de concreto armado
Modificado de SINAPI, 2017.

PILAR (COLUNA) CIRCULAR DE CONCRETO ARMADO					
Insumo	Un	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
mt08ebr050	m	Sarrafo de madeira serrada, de pinus (pinus spp), de 2,5x7 cm, de 2ª qualidade, segundo ABNT NBR 11700.	9,029	3,00	27,09
mt07aco070f	kg	Aço em barras nervuradas, CA-50, de vários diâmetros, segundo ABNT NBR 7480.	126,000	3,89	490,14
mt08ebr110ae	m	Fôrma de papelão cilíndrica descartável, para pilares de concreto, de até 3 m de altura e 35 cm de diâmetro médio.	10,400	72,02	749,01
mt07aco020b	Un	Separador certificado para pilares.	12,000	0,12	1,44
mt08var050	kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,840	2,51	2,11
mt08ebr035a	Un	Escora aprumadora metálica, telescópica, com extremidades articuladas, de até 3 m de comprimento.	0,085	65,21	5,54
mq06bhe010	h	Caminhão bomba estacionado na obra, para bombeamento de concreto. Inclusive parte proporcional de deslocamento.	0,158	384,47	60,75
mt10haf080iec	m³	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, segundo ABNT NBR 8953.	1,050	322,16	338,27
mo043	h	Armador.	0,976	18,71	18,26
mo091	h	Ajudante de montador de fôrmas.	2,130	15,11	32,18
mo044	h	Montador de fôrmas.	2,130	18,71	39,85
mo090	h	Ajudante de armador.	1,084	15,11	16,38
mo045	h	Oficial de trabalhos de concretagem.	0,113	18,71	2,11
mo092	h	Ajudante de trabalhos concretagem.	0,452	15,11	6,83
				Custo Total:	R\$ 1.789,96

O segundo pilar de seção circular é feito de bambucreto e possui um diâmetro médio de 35 cm. O concreto utilizado é da classe C25, apresentando agressividade ambiental II, destinado a um ambiente urbano. A brita empregada é do tipo número 1, com consistência S100, e o concreto foi dosado em central e aplicado com bomba. Da mesma forma, o pilar suporta um piso com altura livre de até 3 m, com superfície moldante feita de fôrmas cilíndricas de papelão descartáveis, sarrafos de madeira serrada e uma estrutura de escoras aprumadoras metálicas para o suporte vertical. O custo associado a esse pilar de bambucreto está detalhado na Tabela 4.

Tabela 4 - Custo de um pilar (coluna) de bambucreto.
Modificada de SINAPI, 2017.

PILAR (COLUNA) CIRCULAR DE BAMBUCRETO					
Insumo	Um	Descrição	Rend.	Preço unitário	Preço Insumo
mt08ebr050	M	Sarrafo de madeira serrada, de pinus (pinus spp), de 2,5x7 cm, de 2ª qualidade, segundo ABNT NBR 11700.	9,029	3,00	27,09
N/A	Um	Vara de bambu <i>Phyllostachys pubescens (Mosô)</i>	5,000	10,00	50,00
mt08ebr110ae	M	Fôrma de papelão cilíndrica descartável, para pilares de concreto, de até 3 m de altura e 35 cm de diâmetro médio.	10,400	72,02	749,01
mt07aco020b	Um	Separador certificado para pilares.	12,000	0,12	1,44
mt08var050	Kg	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro.	0,840	2,51	2,11
mt08ebr035a	Um	Escora aprumadora metálica, telescópica, com extremidades articuladas, de até 3 m de comprimento.	0,085	65,21	5,54
mq06bhe010	H	Caminhão bomba estacionado na obra, para bombeamento de concreto. Inclusive parte proporcional de deslocamento.	0,158	384,47	60,75
mt10haf080iec	m³	Concreto C25 classe de agressividade ambiental II e tipo de ambiente urbano, brita 1, consistência S100, segundo ABNT NBR 8953.	1,050	322,16	338,27
mo043	H	Armador.	0,976	18,71	18,26
mo091	H	Ajudante de montador de fôrmas.	2,130	15,11	32,18
mo044	H	Montador de fôrmas.	2,130	18,71	39,85
mo045	H	Oficial de trabalhos de concretagem.	0,113	18,71	2,11
mo092	H	Ajudante de trabalhos concretagem.	0,452	15,11	6,83
				Custo Total:	R\$ 1.333,44

Pesquisas têm destacado a viabilidade do bambu como uma alternativa para substituir o aço utilizado no concreto armado, resultando em uma redução da demanda por esse material. Essa substituição tem impacto positivo nos processos de obtenção, que frequentemente dependem de recursos naturais não-renováveis, como minério de ferro, e também envolvem o consumo de energia proveniente de fontes fósseis, como carvão. A adoção do bambu como substituto pode contribuir para a diminuição da emissão de dióxido de carbono, um dos principais agentes responsáveis pelo efeito estufa (GHAVAMI & MARINHO, 2004).

“O bambu possui características muito parecidas com o aço. Sua resistência às forças de compressão e tração é muito alta, podendo ser usado – se devidamente calculado – simultaneamente, para esses dois esforços. Quando comparados os valores médios de resistência à tração do material sobre o peso próprio, percebe-se que o bambu é capaz de suportar o equivalente e, em alguns casos, até uma carga maior que o aço”, explica o engenheiro civil Vitor Hugo Silva Marçal, secretário Executivo da Associação Brasileira de Produtores de Bambu (ABPB). Marçal ainda

cita diversos países como Colômbia, Peru, Equador, Indonésia, Índia e China como possuidores de estruturas projetadas e executadas com bambu roliço. Inclusive contando com estruturas centenárias e habitadas que até os dias atuais nunca apresentaram manifestações patológicas de natureza preocupante. A China aparece como um excelente exemplo de aplicação diversificada do bambu, já que eles o moldam para que o material assuma variados tipos de resistências, flexibilidade, formas e tonalidades.

Em algumas espécies o bambu pode atingir até 370 MPa (LIMA Jr, H. C; WILLRICH, F. L.; FABRO Jr, G., 2005) de resistência a tração, considerando as espécies mais indicadas à construção, citadas anteriormente, essa resistência é de 2,5 a 3,5 vezes daquela obtida em relação à compressão. Portanto, é grande o potencial do bambu enquanto substituto para o aço, especialmente pela razão entre resistência e massa específica, já que ele pode suportar, inclusive, até uma carga maior que o aço, considerando a relação supracitada (Tabela 5).

Tabela 5 - Resistência de diferentes materiais em relação ao aço.
Ghavami, K.; Marinho, A.B. (2005)

Tipo de Material	Resistência à tração 'σ' (Mpa)	Peso específico 'γ' (N/mm ³ x 10 ²)	$R = \left(\frac{\sigma}{\gamma}\right) / 10^2$	$\frac{R}{R_{aço}}$
Aço CA 50	500	7,83	0,64	1,00
Alumínio	300	2,79	1,07	1,67
Ferro fundido	280	7,70	0,39	0,61
Bambu	120	0,8	1,5	2,34

Existem investigações mais detalhadas e abrangentes sobre a interação entre o concreto e o bambu, as quais podem fornecer uma base conclusiva para a utilização desse material alternativo como reforço de tração em concreto.

Em uma análise comparativa referente aos respectivos custos de aquisição do bambu e do aço, observou-se que, para uma mesma solicitação mecânica, como viga, o preço do bambu tratado seria cerca de 2,3 vezes menor que o do aço. Esta análise foi feita a partir de resultados obtidos pelo software ANSYS para um modelo de viga simplificado correspondente a um colmo de bambu com 6 m de comprimento e submetido a carga distribuída de 3,2 KN/m. Um modelo análogo foi criado para tubos de aço com dimensões comercializadas.

Com o preço de aquisição superior ao dobro do obtido para o bambu, o aço, além de onerar as construções, gera, durante sua cadeia produtiva, uma significativa quantidade de resíduos sólidos no meio, bem como é responsável por uma grande emissão de gases poluentes na atmosfera. Todavia, é necessário reconhecer que há uma complexidade de fatores incidentes sobre o custo total das construções, como, por exemplo, a mão-de-obra empregada e a técnica utilizada, que extrapolam o simples custo de obtenção do material.

De acordo com os procedimentos recomendados pelas normas para concreto armado com aço, foi adotada uma relação linear entre a tensão de aderência característica e a resistência à compressão do concreto. Em média, a tensão de aderência calculada entre o bambu e o concreto foi apenas cerca de 20% inferior à tensão de aderência entre o aço liso e o concreto (Figura 21).

Figura 21 - Substituição de aço por bambu em estruturas de concreto armado.
The Constructor (2017)



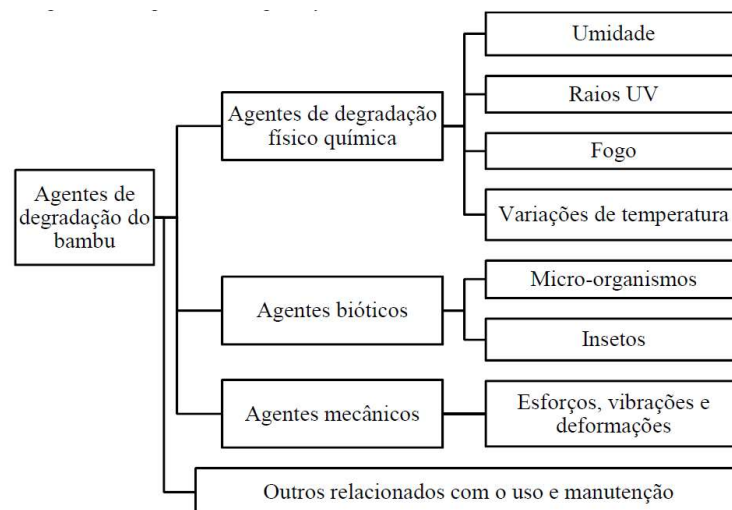
Foram conduzidos ensaios de aderência entre o concreto e o bambu, utilizando corpos de prova que compararam armaduras contendo pinos para fixação das varetas com corpos de prova contendo varetas de bambu sem pinos. A inserção de dois pinos, seja de aço ou de bambu, nas varetas resultou em um aumento de 80% e 50% na tensão de aderência, respectivamente. Os valores calculados para a tensão de aderência desses corpos de prova foram maiores em relação aos valores obtidos para o aço liso, apresentando um aumento de 26% e 5% (conforme relato de Mesquita, 2006).

3 ANÁLISE TÉCNICA DO USO DO BAMBU

3.1 Manifestações Patológicas

Um dos principais motivos que limitam a disseminação do uso do bambu na construção civil é sua vulnerabilidade à depreciação resultante por agentes externos: os caules sem tratamento, vulneráveis à intempérie e em contato direto com o solo. Um colmo sem tratamento tem, em média, a durabilidade de um ano. No caso de estarem protegidos por uma cobertura podem resistir até sete anos. Assim, o fator de uso é relevante para conservar as condições apropriadas que garantam a proteção do bambu contra agentes agressores após a colheita, durante o tratamento e secagem, no transporte, na aplicação na construção e, na manutenção da edificação (Figura 22).

Figura 22 - Agentes de degradação do bambu
Benavides (2012)

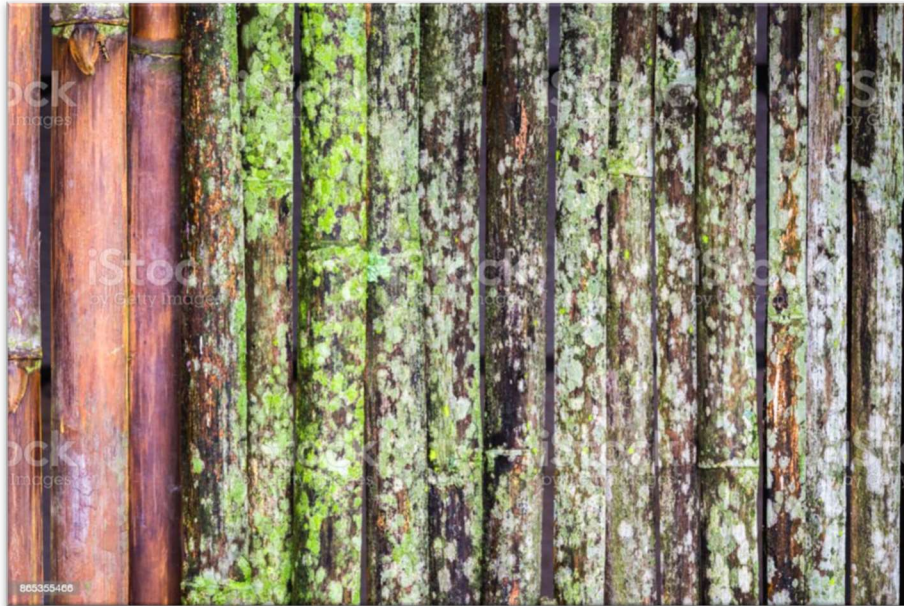


Quando o bambu está no bambuzal já pode apresentar algumas falhas como furos feitos por insetos ou aves, deformações excessivas em relação ao eixo de crescimento, deformações do colmo e conicidade superior a 1% (NSR 100, 2010), fissuras com comprimento maior que 20% do comprimento do colmo ou até podridão. Antes da aplicação dos caules em estruturas é importante fazer uma classificação visual que permita classificar esses defeitos e, segundo recomendado pelas normas internacionais NSR 10 (2010), E 100 Bambu (2012) e NEC–SE–Guadua (2016), esses colmos devem ser descartados ou utilizados para outras finalidades.

3.1.1 Agentes de Degradação Físico-Química

Nas edificações em serviço, o bambu está vulnerável a diferentes combinações de vários fatores ambientais que favorecem a sua depreciação (Figura 23).

Figura 23 - Parede de bambu com mofo verde-branco
Getty Images/iStockphoto



A. Umidade

Por ser um material higroscópico²⁰, a umidade do ambiente e a água incidente no colmo alteram suas dimensões e a sua resistência mecânica, o que pode interferir diretamente na sua aplicação. Além do mais, em conjunto com a temperatura adequada, podem favorecer um ambiente adequado para a proliferação de fungos.

B. Raios ultravioletas (UV)

Após o corte, a exposição direta e prolongada aos raios UV (ação do sol), antes ou durante a aplicação em edificações, ocasiona fotodegradação nos colmos (Figura 24).

Wang e Ren (2008) indicam que a fotodegradação é a modificação da cor da superfície do bambu ou das madeiras, resultado de mudanças químicas em alguns componentes durante a exposição à irradiação UV. Essa mudança de cor também

²⁰ Higroscopia é a propriedade que certos materiais possuem de absorver água.

está relacionada à modificação da lignina. O bambu afetado por raios UV apresenta uma cor esbranquiçada.

Figura 24 - Aparência da cobertura de bambu após excessiva exposição ao sol.
Benavides (2012)



C. Fogo

O bambu é um material inflamável e seus caules, quando expostos ao fogo, explodem devido a acumulação do calor na parte interna dos entrenós. O fogo é um fator que deve ser considerado na fase do projeto de edificações com esse material com foco na segurança do usuário final.

D. Variações de temperatura

As rápidas alterações de temperatura em combinação com a umidade, nas partes expostas do bambu, resultam num comportamento diferente das demais. Os colmos se expandem ou se contraem a depender do ganho ou da perda de temperatura e de umidade, podendo resultar em mudanças da cor, em deformações e em aparecimento de rachaduras que facilitam o ingresso futuro de umidade ou de insetos ao interior dos colmos.

3.1.2 Agentes Bióticos de Degradação

O bambu é muito mais suscetível do que as madeiras ao ataque dos fatores bióticos – fungos e insetos - por causa do seu alto nível de amido.

Conforme Matsuoka e Beraldo (2014), os agentes bióticos são os que mais deterioram o bambu. Seu ataque pode ocorrer nas plantações de bambu, durante o

empilhamento, no transporte e também quando aplicado na construção. A vida útil das estruturas de bambu está exposta à percentagem de degradação biológica sofrida pelos componentes.

A. Micro-organismos

Os micro-organismos têm maior incidência de ataque ao bambu quando este está em contato direto com o solo (BERALDO; FERREIRA; VIEIRA, 2006). Entre esses agentes biológicos, os fungos xilófagos desempenham um papel significativo na degradação do bambu, pois se alimentam de diversas partes do colmo (Figura 25), dependendo da espécie, e têm a capacidade de se reproduzir rapidamente, o que representa uma ameaça substancial (KLEINE, 2010).

De acordo com Silva (2009), o bambu nunca é atacado por uma única espécie de fungo. Isto foi o resultado da pesquisa em amostras de *Dendrocalamus giganteus* expostas a condições ambientais e em contato com o solo onde identificaram fungos de 4 gêneros diferentes.

Figura 25 - Fungos em taliscas de bambu.
Silva, (2021).



Kleine (2010) explica que os fungos que se alimentam de tecidos lenhosos expõem uma classificação que está resumida na Figura 26. Conforme sugere

Moreschi (2013), esta classificação também tem sido utilizada para os fungos que atacam as madeiras.

Figura 26 - Classificação dos fungos que atacam ao bambu.
Kleine (2010) adaptado



Kleine (2010) e Matsuoka e Beraldo (2014) indicam que os fungos emboloradores e manchadores (Figura 27) inicialmente não ocasionam prejuízo nas propriedades mecânicas do bambu e a sua ação altera objetivamente a parte estética - mas futuramente podem alterar também a resistência mecânica. Os fungos apodrecedores representam um considerável risco para a integridade dos elementos construtivos e da saúde humana.

Figura 27 - Fungos emboloradores (a) e manchadores do bambu (b).
Site 25



Os fungos manchadores (*stain fungi*) podem penetrar em bambus roliços pelos extremos (onde a parte interna está exposta) e também pelas partes da peça de onde foram removidos os ramos. A presença desses fungos resulta em manchas com coloração acinzentada na superfície do colmo, as quais não são eliminadas por lixamento.

Os fungos apodrecedores (*decay fungi*) causam um dano mais grave nos colmos. Eles crescem dentro do lúmen das células e, futuramente, provocam mudanças nas propriedades químicas das partes do bambu (HIDALGO- LÓPEZ, 2003).

B. Insetos

Os insetos xilófagos (Figura 28) são os que causam os ataques mais destrutivos ao bambu seco. As brocas e os cupins são os mais comuns. Esses insetos passam por modificações genéticas ao longo da sua vida, evoluindo de larva a pupa e finalmente a inseto adulto, podem ser xilófagos apenas numa fase ou em todas elas, dependendo da espécie observada.

Os ataques de brocas observam-se no interior dos colmos, que é a parte mais macia; já no córtex quase não se encontram danos maiores, embora possam ser percebidos alguns alertas como os pequenos furos que servem de acesso para os insetos e também a presença de pó branco ou de pequenas bolinhas brancas ou marrons nas proximidades dessas aberturas.

Figura 28 - Bambu atacado por inseto *Chlorophorus annularis*
Site 25



Kaminski *et al.* (2016) descrevem que os ataques de insetos se manifestam externamente por pequenos furos ovalados ou redondos com um diâmetro entre 1 a 6 mm.

Kleine (2010) afirma que no Brasil não há muitas pesquisas sobre as espécies de insetos xilófagos que atacam ao bambu, mas que algumas ocorrências para

Dinoderus minutus, *Chlorophorus annularis*, *Lictus brunneus*, *Cryptotermes dudleyi* e *Odontotermes feae* já foram registradas.

3.1.3 Agentes Mecânicos de Degradação

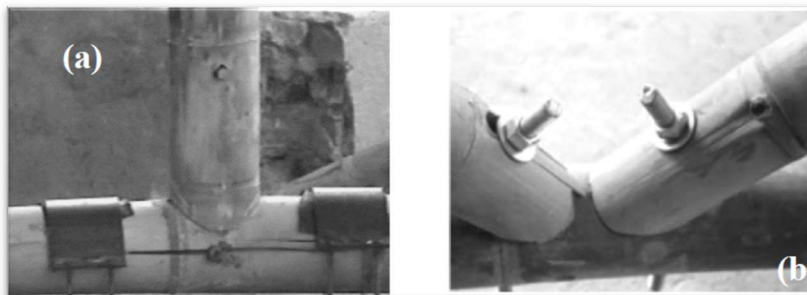
Os colmos de bambu podem ser submetidos a esforços de compressão, de tração, de flexão e de cisalhamento, podendo ocasionar deformações e rupturas características (Figura 29).

Figura 29 - Ruptura dos caules de bambu por compressão paralela (a) e por compressão perpendicular às fibras (b).
Takeuchi (2004).



Beraldo (2016) apresenta os resultados de uma avaliação em uma construção depois de 17 anos de exposição no Brasil. Nos resultados, observou-se que as colunas de bambu da espécie *Dendrocalamus asper* - cujas bases tinham sido enterradas no concreto das fundações - demonstram o pior desempenho possível e sofreram ataques de organismos xilófagos. Os colmos da mesma espécie de bambu utilizados na estrutura da cobertura tiveram ruptura por esmagamento, inclusive os colmos cujo entrenó foi preenchido com concreto (Figura 30).

Figura 30 - Ruptura dos caules de bambu por tração perpendicular às fibras (a) e cisalhamento paralelo às fibras (b).
Takeuchi (2004)



Nesse contexto, as normas de construção com bambu na América do Sul: NSR 10 (2010) na Colômbia, Norma Técnica E 100 (2012) no Peru e NEC-SE-Guadua

(2016) no Equador já preveem o reforço dos colmos de bambu nessas aplicações e a proteção dos elementos contra a umidade, mesmo aquela que seja proveniente do concreto.

3.1.4 Agentes de degradação no uso e na manutenção

Existem manifestações que são provenientes da ação dos usuários da edificação. Por exemplo, aquelas que aparecem por falta de manutenção ou pelo seu uso inadequado.

A aparência do bambu nesses casos dependerá da ação, mas para poder identificá-las e futuramente realizar um diagnóstico é necessário fazer uma boa análise da história de uso e, uma observação das interações rotineiras entre o usuário e a edificação.

3.2 Tratamentos Preservativos

A preservação dos caules de bambu é feita a partir de modificações de métodos utilizados para a madeira. De maneira geral a preservação da madeira pode ser apresentada como um conjunto de processos utilizados para proporcionar a madeira elevada resistência e durabilidade diante dos agentes de depreciação, sejam eles de causa física, química ou biológica (DIAS; BARREIROS, 2018). Em todo o mundo, há crescente interesse no consumo de madeira tratada, e nos Estados Unidos mais de 20% de toda madeira produzida é protegida com conservantes (BARNES, 2016).

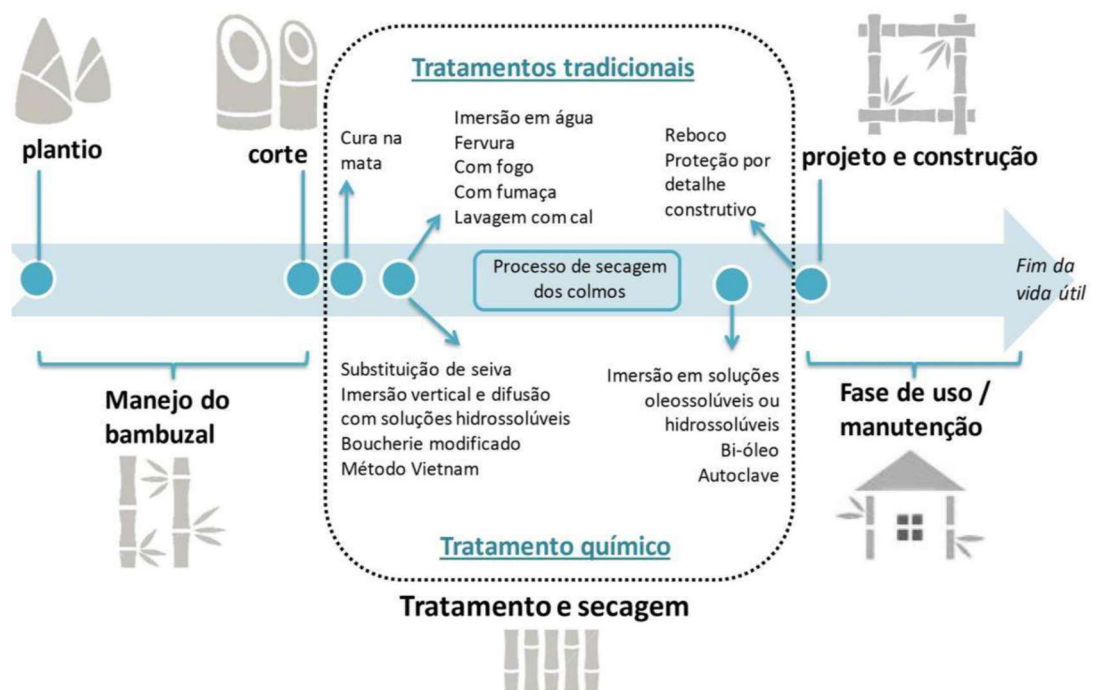
No Brasil, segundo Associação Brasileira de Preservadores da Madeira (ABPM), conhece-se cerca de 250 usinas de preservação, que produzem aproximadamente 1,2 milhão/m³ de madeira tratada por ano. As áreas de distribuição são a construção civil (10%), os setores elétricos e ferroviários (30%) e o restante (60%) para construções rurais (APRE, 2011). O principal produto protegido tem sido moirões, com aproximadamente 20 milhões de moirões tratados por ano (GERALDO, 2019). Esse mercado tem evoluído muito, visto que a preservação tem permitido a substituição de madeiras natural por madeiras de crescimento rápido, que inicialmente seriam menos resistentes aos biodeterioradores (VIDAL *et al.*, 2015).

O bambu é uma das espécies de rápido crescimento que precisa de tratamento preservativo sendo primordial para suas aplicações. Caso não haja nenhum tipo de tratamento, o bambu alcança a durabilidade de 1 a 3 anos se estiver em contato com

o solo e local aberto, 4 a 6 anos em contato com o solo e local coberto em 10 a 15 anos se tiver em condições favoráveis de ambientação (JANSSEN, 2000). Assim sendo, após a colheita do bambu é importante que haja técnicas apropriadas que modifiquem o nível de amido existente no colmo para otimizar o prolongamento da sua vida útil (TIBURTINO *et al.*, 2015).

A Figura 31 apresenta as Fases do Ciclo de Vida do Bambu. O tipo de método de preservação escolhido pode ser alterado por critérios como quantidade de material a ser protegido, dimensões do material, os métodos adotados, o tipo de produto, a finalidade e o grau de maturidade dos colmos (LIESE, 2004). Existem basicamente duas maneiras de proteger o bambu: tradicional e com produtos químicos. Os métodos tradicionais são utilizados há milhares de anos, por serem de fácil execução e custo baixo para realização. Este método abrange diversas técnicas como o cozimento da peça em forno, a utilização de corantes, vernizes e tintas de origem natural, a lavagem em cal, a imersão quente-frio, o tratamento a pressão, entre outros (LIESE *et al.*, 2015).

Figura 31 - Ciclo de vida do bambu aplicado na construção civil.
Benavides, 2012.



Porém, quando se considera a preservação de madeira em larga escala, o método mais comumente empregado é a proteção através de produtos químicos. No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) concede autorização para a utilização de uma variedade de produtos

químicos, tais como o arseniato de cobre cromatado (CCA tipo C), o borato de cobre cromatado (CCB), ciflutrina, cipermetrina, deltametrina, fipronil, IPBC, creosoto, tanino, tribromofenol, quinolinolato de cobre-8, cardendazin, prochloraz, boratos, fluor, além de produtos baseados em cobre e azol (IBAMA, 2017). Entretanto, os produtos mais amplamente empregados são o CCA (à base de cobre) e o CCB (à base de boro), que constituem aproximadamente 90% dos produtos utilizados nas indústrias de tratamento de madeira (VIDAL *et al.*, 2015).

No âmbito do bambu, os tratamentos químicos (Figura 32) também têm sido amplamente utilizados. Normalmente a composição utilizada para conservar os colmos é composta por ácido bórico e boráx (CCB), compondo o octaborato dissódico, a qual é dissolvida em água em uma concentração de 3 a 10%. Além desses, o cloreto de zinco e o sulfato de cobre podem ser usados como sais simples para proteção do bambu. Porém, os colmos tratados não devem estar vulneráveis a chuva ou em contato direto com o solo pelo elevado risco de lixiviação de seus componentes (TANG; LIESE, 2011; SILVA, 2013; LIESE *et al.*, 2015). De acordo com norma brasileira NBR 10004:2004 (ABNT, 2004) o CCA e CCB são produtos classe toxicológica 1 - extremamente tóxicos -, por terem em sua composição metais pesados como o arsênio e o cromo. Da mesma forma que são susceptíveis a lixiviação e volatilização dos componentes, gerando risco de contaminação ao meio ambiente, pelo descarte de produtos ao final da vida útil. Nos países Alemanha, Japão, Indonésia, Suécia e nos Estados Unidos, há restrições quanto a utilização desses componentes (REMADE, 2006). Pereira e Beraldo (2007) declaram que “o bambu se desenvolve facilmente quando as condições lhe são favoráveis”. Assim sendo são importantes as condições do cultivo e do manejo do bambuzal para beneficiar o desenvolvimento pleno dos colmos. Durante a fase de desenvolvimento do bambu é primordial dar continuidade em manter as touceiras saudáveis, protegendo-as de prováveis pragas de insetos ou roedores, realizando adubação, a irrigação ou a calagem do solo, caso necessário. Ainda, é preciso fazer um controle da idade dos colmos na touceira por meio de sua marcação.

No que se refere à colheita, Kleine (2010) assinala que a durabilidade dos colmos é elevada quando a colheita é feita nos meses de outono e de inverno (período menos chuvoso), devido a quantidade de carboidratos nos colmos maduros ser muito

baixa. Não se recomenda que a colheita seja feita durante a brotação para não comprometer os brotos.

Figura 32 - Imersão de colmos de bambu em solução de boro ou cobre
Apuana (2019)



Entre a colheita dos colmos e a aplicação do bambu na construção, eles devem passar pelos processos de tratamento e de secagem, cuja sequência se altera a depender do método de proteção adotado.

3.2.1 Tratamentos tradicionais

Os tratamentos tradicionais aplicados na proteção do bambu advêm do conhecimento e da experiência adquiridos durante muitos séculos por várias culturas espalhadas pelo mundo, e neles são utilizados produtos naturais, procedimentos econômicos e relativamente fáceis de reproduzir até mesmo por leigos. Morán (2002) realizou pesquisas na América Latina, e Kaur (2016), na Índia, ambos descrevem alguns desses métodos. Na sequência estão detalhados aqueles encontrados na literatura e cuja aplicação é mais usual.

A. Cura dos colmos na mata

A cura dos caules na mata (ou avinagrado) é um processo que ocorre logo a seguir do corte do caule e consiste em deixá-lo apoiado na mesma base da qual foi tirado, sem tirar ainda os galhos, durante 2 a 3 semanas (MORÁN, 2002). Liese e Tang (2015) ressaltam que nesse método a respiração dos tecidos do colmo continua acontecendo. O nível de amido e de açúcares no colmo reduz, o que posteriormente diminui o ataque de brocas, mas não enfraquece o ataque de fungos nem de cupins.

B. Imersão dos colmos em água

A imersão dos colmos em água (Figura 33) é um procedimento muito utilizado na Ásia, e consiste em mergulhar os colmos frescos em água - seja corrente ou parada - durante 1 a 3 meses com o objetivo de percolar (ou degradar) os carboidratos. Afundar o bambu, logo após o seu corte é uma maneira de diminuir a voracidade dos insetos xilófagos (comedores de madeira), pois a seiva rica em amidos vai sendo substituída gradualmente pela água dentro das paredes do bambu. Alguns autores relatam que o efeito do tratamento é semelhante ao do procedimento de cura dos colmos: reduz do ataque de brocas, mas não de cupins ou fungos. Entretanto, estudos mais recentes desenvolvidos na Índia apresentam maior eficácia desse tratamento especificamente na espécie *Dendrocalamus strictus* (KAUR *et al.*, 2013). Liese e Tang (2015b) esclarecem que a redução dos carboidratos nesse método acontece devido à ação bacteriana e, conseqüentemente, os colmos podem apresentar mau cheiro após o procedimento.

Figura 33 - Imersão dos colmos em água.
Bambu Wiki (2019)



Morán (2002) afirma que esse método era utilizado antigamente na América Latina, aproveitando a oportunidade em que os colmos precisavam ser transportados de regiões montanhosas para o litoral pelos rios e, assim, o bambu era tratado durante esse tempo de transporte, aproximadamente de 3 à 4 semanas.

C. Fervura do bambu

O procedimento de fervura do bambu em água (roliço ou em taliscas), entre 30 e 60 minutos, tem a vantagem de aumentar sua resistência aos ataques de brocas e contra alguns fungos. Entretanto, é preciso atenção para o tempo de fervura do

bambu, visto que o procedimento pode alterar a coloração do material (LIESE; TANG, 2015).

D. Tratamento com fogo ou calor

O bambu é agredido por temperaturas superiores a 150 °C, no tratamento com fogo ou calor, o que altera a estrutura da matéria orgânica e fornece ao material uma maior resistência aos ataques de fungos e de insetos. Esse tratamento diminui a capacidade posterior do bambu de absorver água pelos colmos. Entretanto Leithhoff e Peek (2001) alertam que depois que o bambu passa por esse tratamento acontece uma diminuição de suas propriedades mecânicas.

Morán (2002) aponta que esse tratamento de proteção era utilizado há muitos anos na Colômbia e no Brasil. Atualmente esse tratamento é muito utilizado para proteger colmos que serão utilizados em movelaria, sendo a aplicação do fogo com o auxílio de um maçarico. Depois do tratamento com fogo, os colmos de bambu têm sua cor modificada de verde para ocre. Este tratamento é geralmente utilizado em bambus do gênero *Phyllostachys*.

E. Tratamento com fumaça

O tratamento com fumaça (Figura 34) se faz no bambu fresco; os caules podem ser tratados em grupos, empilhados ou individualmente, dentro de fornos ou câmaras, onde combustíveis orgânicos são queimados durante alguns dias até que o nível de umidade dos colmos esteja igual ou inferior a 12%. Este processo reduz a depreciação biológica.

Figura 34 - Tratamento por fumaça
Bambu Escola (2011)



Durante o processo, ocorrem alterações internas nos carboidratos, porém os resíduos da fumaça são depositados externamente, na superfície dos colmos, proporcionando proteção contra os fungos e os insetos. Esse tratamento reduz também a possibilidade de ocorrerem fissuras. Depois da sua aplicação, a cor do bambu se altera e os colmos também adquirem um cheiro ácido que pode impactar seu uso posterior (LIESE; TANG, 2015).

Pesquisadores indicam que esse procedimento também foi utilizado pelos camponeses de uma maneira mais artesanal na América Latina, para proteger o bambu (MORÁN, 2002) e, na Índia, para proteger madeiras (KAUR, 2016).

Kaur (2016) mostram, em uma pesquisa com bambus da espécie *Dendrocalamus strictus*, que os colmos tratados com fumaça apresentam maior resistência à danos causados por fungos, por insetos ou pelo calor. Os autores explicam que o calor produzido durante a pirólise deve modificar as células do parênquima, resultando na alteração estrutural do amido e incrementando o da lignina, assim melhorando as propriedades mecânicas dos colmos. Os autores sugerem utilizar esse tratamento com outros para maior efetividade.

F. Lavagem com cal

A lavagem com cal é uma proteção onde o bambu é pintado com cal hidratada (CaOH_2), posteriormente se transforma em carbonato de cálcio (CaCO_3), ao reagir com o CO_2 da atmosfera, reduzindo então a absorção da água.

A superfície atingida se torna alcalina dificultando os ataques de fungos. Nesse tratamento o bambu é “pintado” com uma cor branca, que poderia até ser utilizado como acabamento; por causa dessa cor final, esse modo de proteção é também chamado na América como “branqueamento com leite de cal”.

G. Proteção com reboco

O revestimento do bambu é outro procedimento de proteção, podendo ser feito com alguns materiais, como o barro, a areia, o cimento e o estrume bovino. Esses materiais isolam o bambu protegendo-o do ataque de fungos e de insetos. Um exemplo conhecido desse tipo de tratamento é a construção do pau-a-pique – conhecido como bahareque ou quinchá na Região Andina.

Em Florianópolis, Conceição (2012) lembra que na época da colonização portuguesa se utilizava esta técnica construtiva nas paredes internas das casas, tal como o bambu servia para formar as tramas para fixar o revestimento.

H. Proteção por meio de processos projetuais e construtivos

Esse tipo de tratamento permite reduzir danos envolvendo a umidade (fungos), com a influência dos raios UV e até evitar os ataques de insetos (cupim de solo). Para tanto, é importante isolar o bambu do contato direto com a terra, ter uma boa ventilação, cuidar para que os cortes dos caules sejam realizados próximos aos nós para um melhor encaixe e uma maior estabilidade estrutural; telhados prolongados com beirais amplos para proteção da chuva e da incidência direta do sol, etc.

I. Outros métodos tradicionais

Atualmente, desde o ponto de vista ambiental até o da saúde humana, os métodos tradicionais de conservação do bambu são valorizados como uma reação aos impactos causados pelos tratamentos com produtos químicos. Por essa razão que, nos últimos anos, pesquisadores como Matsuoka e Beraldo (2014) e Kaur. (2016), desenvolveram pesquisas com métodos de conservação do bambu naturais e, conseqüentemente, menos invasivos. Essas pesquisas implicam no aprofundamento de vários temas, dentre eles: o uso de preservativos provenientes de plantas e de árvores como o caso do tanino, a alteração térmica dos colmos, os efeitos que esses procedimentos exercem na anatomia e na composição química dos colmos, a busca por métodos naturais que permitam conservar a coloração do bambu mesmo depois da secagem, a proteção ao fogo, entre outros. No entanto, é evidente que as pesquisas nessa área ainda estão em estágios iniciais.

3.2.2 Tratamentos químicos

A origem do tratamento com produtos químicos no bambu se baseou na réplica dos tratamentos já utilizados nas madeiras, as diferenças anatômicas entre ambos fazem com que o bambu tenha mais resistência à introdução de líquidos.

Os colmos de bambu são ocos, seu córtex é rijo e impermeável, evitando a penetração dos produtos químicos por essa região do colmo, pois não existem feixes radiais nos colmos de bambu, somente longitudinais e os únicos pontos em que eles se interligam transversalmente são os entrenós, impedindo a invasão de líquidos no

seu interior, de um entrenó para outro. A penetração dos produtos químicos de proteção ocorre principalmente na direção longitudinal dos colmos.

Kleine (2010) ressalta o desafio que implica em introduzir os produtos químicos preservativos nos colmos de bambu e conseguir sua penetração no tecido lenhoso. Ressalta também que, para facilitar o processo, são utilizados solventes. Quanto ao tipo de solvente empregado, podem ser óleos solúveis ou hidrossolúveis.

A. Preservativos óleos solúveis

Esse tipo de conservantes são substâncias que afastam a água e são aplicados em colmos secos. A aplicação desses preservativos pode afetar a tonalidade dos colmos para marrom escura. Entre os produtos mais conhecidos estão os creosotos de origem mineral ou vegetal, resultados obtidos através da fabricação de carvão. Kleine (2010) e Liese e Tang (2015) alertam que em alguns países seu uso e sua venda estão limitados porque resultam em propriedades cancerígenas.

Os solventes mais usados são: querosene, óleo diesel, óleo queimado e aguarrás. O produto óleos solúvel mais comum utilizado é o pentaclorofenol, bom inseticida e excelente fungicida, o qual é dissolvido num teor de 5%, porém sua aplicação está proibida (PEREIRA; BERALDO, 2008).

Adicionalmente, Kleine (2010) sugere a possibilidade de aplicação de óleo de dendê e de óleo diesel no bambu, que apesar de não terem ação inseticida e nem fungicida, são utilizados para vedar o bambu e impedir a penetração da umidade.

B. Preservativos hidrossolúveis

Os produtos hidrossolúveis são sais orgânicos e inorgânicos diluídos em água, que invadem os tecidos do bambu por difusão e, após a evaporação da água, eles ficam no colmo realizando a sua proteção.

Esses produtos poderiam ser aplicados por imersão nos colmos secos e por substituição de seiva em colmos frescos (PEREIRA; BERALDO, 2008).

Liese e Tang (2015) subdividem esses produtos em: lixiviáveis e fixos. Os produtos lixiviáveis invadem os tecidos dos colmos de bambu por difusão e podem ser aplicados através de métodos com e sem pressão.

3.3 Técnicas de Inspeção

Na ABNT (1999), a NBR 5674 indica que os métodos de inspeção servem para ajudar no diagnóstico do estado de uma edificação ou de suas partes. Para o aprofundamento deste estudo foi necessário avaliar as situações do bambu encontrado nas edificações.

Não foram encontradas técnicas de inspeção de elementos de edificações em uso e que sejam específicas para o bambu. Assim sendo, escolheu-se por analisar as que são aplicadas nas edificações de madeira, devido o material ter características mais próximas àquelas do bambu.

Para realizar os procedimentos de inspeção é importante ter um conhecimento aprofundado dos materiais que serão avaliados. Por exemplo, os especialistas que executam as inspeções devem conhecer os efeitos que as fontes bióticas e abióticas têm na madeira e associá-los com os procedimentos de deterioração ao longo do tempo (BRITO, 2014) e para tanto devem seguir uma metodologia rigorosa e sistemática.

Os métodos de inspeção auxiliam no recolhimento e no registro de informações de avaliações das condições de durabilidade e de desempenho dos elementos de madeira e de bambu para determinar os requisitos do material em aplicado.

A. Inspeção visual

Esse é um método tradicional de abordagem da edificação, utilizado para fazer um levantamento da situação de conservação. Ele proporciona uma perspectiva global da edificação, e são observadas as características gerais dos elementos estudados.

Nessa fase o registro fotográfico é imprescindível, pois complementa as anotações, oferecendo oportunidades de comparação entre as imagens de cada inspeção, principalmente auxiliando nas pesquisas da evolução das patologias ao longo do tempo.

A inspeção visual deve ser realizada a curta distância e ao longo de todo o elemento analisado, assim se recomenda a utilização de ferramentas simples. Alguns dos instrumentos usados para este procedimento são: fita métrica, paquímetro, pincel ou escova, luvas, espelho, nível, formão, martelo de borracha, lupa e câmera de fotos.

B. Medição de umidade

Este é também método tradicional que serve para determinar o nível de umidade da madeira aplicada. Existem dois tipos de higrômetros: resistivo (Figura 35) e indutivo. Os higrômetros resistivos possuem duas ou mais agulhas, que são inseridas na peça avaliada e seu funcionamento está baseado na variação da condutibilidade elétrica, dependendo do nível da umidade contida na madeira.

Figura 35 - Utilização de higrômetros resistivos
Franke, Franke e Scharmacher (2013).



Os higrômetros indutivos (ou de contato) necessitam ser encostados nas peças em análise e funcionam medindo a variação de campos magnéticos, dependendo da umidade e da densidade da madeira (VALLE; TEREZO; TELES, 2004). Para a utilização desse instrumento de avaliação no bambu em edificações, é necessário analisar a viabilidade de sua calibração conforme as características do material.

C. Teste de percussão

Trata-se de bater com um martelo - pode ser de borracha ou de silicone para não danificar o material - na superfície dos elementos de madeira, interpretando as diferenças dos sons emitidos nas regiões sólidas ou ocas. Valle, Terezo e Teles (2004) alertam que podem ocorrer erros de interpretação devido a variação do som influenciado pela presença de umidade nas peças ou nas regiões próximas das ligações, bem como a dificuldade pertinente para determinar a extensão das deteriorações.

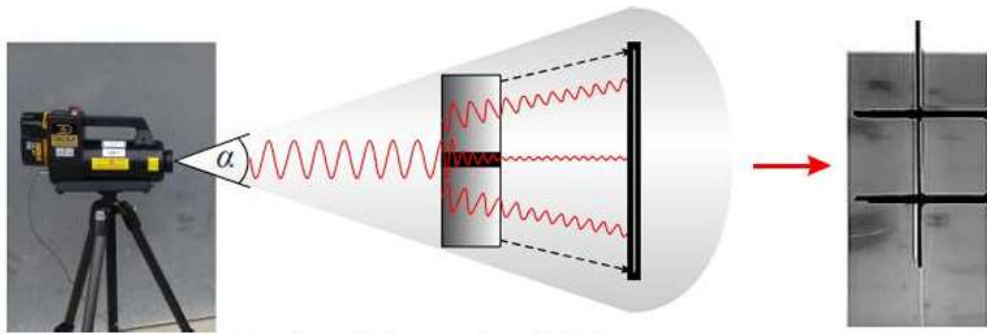
D. Raios-X

É uma técnica que permite inspecionar os elementos praticamente sem contato por meio de um equipamento portátil (FRANKE; FRANKE; SCHARMACHER, 2013).

Os raios-X conseguem atravessar os materiais e a intensidade com que os seus raios atravessam depende da densidade do material (Figura 36).

Assim sendo, no caso dos elementos em madeira, as regiões sãs oferecem elevada resistência à passagem dos raios em comparação com as regiões degradadas. (VALLE; TEREZO; TELES, 2004).

Figura 36 - Teste de Raio-X
Franke, Franke e Scharmacher (2013).



E. Ultrassom ou propagação de ondas

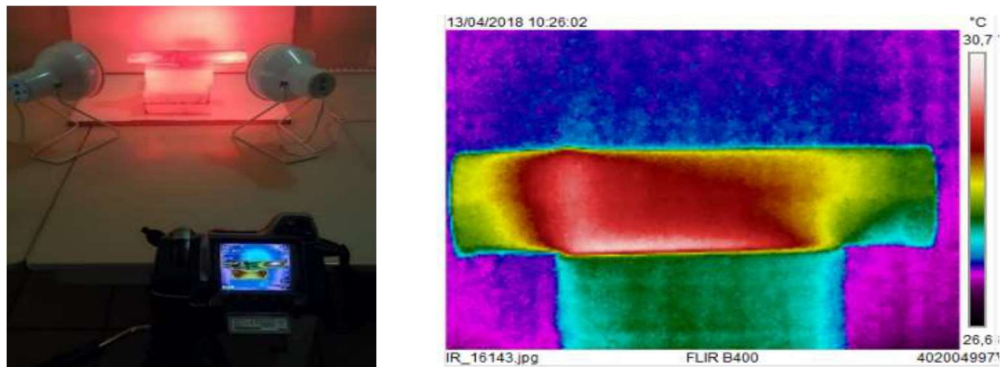
Valle, Terezo e Teles (2004) relatam que esse método é muito comumente empregado para determinar as propriedades da madeira através da velocidade de propagação do som. É muito utilizado também nas inspeções de estruturas de madeira em edificações históricas.

No Brasil, este método não destrutivo tem sido empregado muitas vezes para avaliar a heterogeneidade do bambu (PEREIRA; BERALDO, 2008; ESPELHO; BERALDO, 2008), a degradação de colmos e as lascas de bambu (BERALDO; FERREIRA; VIEIRA; 2006, SILVA et al., 2009, MATSUOKA; BERALDO, 2014).

F. Termografia

É um ensaio com base nas radiações térmicas que cada material emite quando é afetado por uma fonte de calor. Um aparelho termográfico detecta esse calor e permite identificar diferenças no material (Figura 37). Valle, Terezo e Teles (2004) juntamente com López, Basterra e Ramón-Cueto (2014), indicam que nos locais das peças de madeira com maior quantidade de vazios próximos à superfície, a temperatura será diferente, refletindo através da luz infravermelha que o instrumento apresenta.

Figura 37 - Ensaio termográfico
Valle, Terezo e Teles (2004)



3.4 Legislação

De acordo com Melo (2010), é de importância fundamental para seu uso de forma racional, econômica e segura, a normalização dos materiais de construção. Materiais mais homogêneos exigem procedimentos de caracterização mais simplificados.

Nos últimos anos, cada país tem trabalhado no desenvolvimento de suas próprias normas (Figura 38), considerando os conhecimentos locais relacionados à construção e aos tipos de bambu mais comumente utilizados em suas obras. No entanto, essas normas compartilham muitas semelhanças e, em diversos casos, servem como referência normativa para as regulamentações subsequentes.

3.4.1 ISO e Normatização Internacional

3.4.1.1 Normas ISO

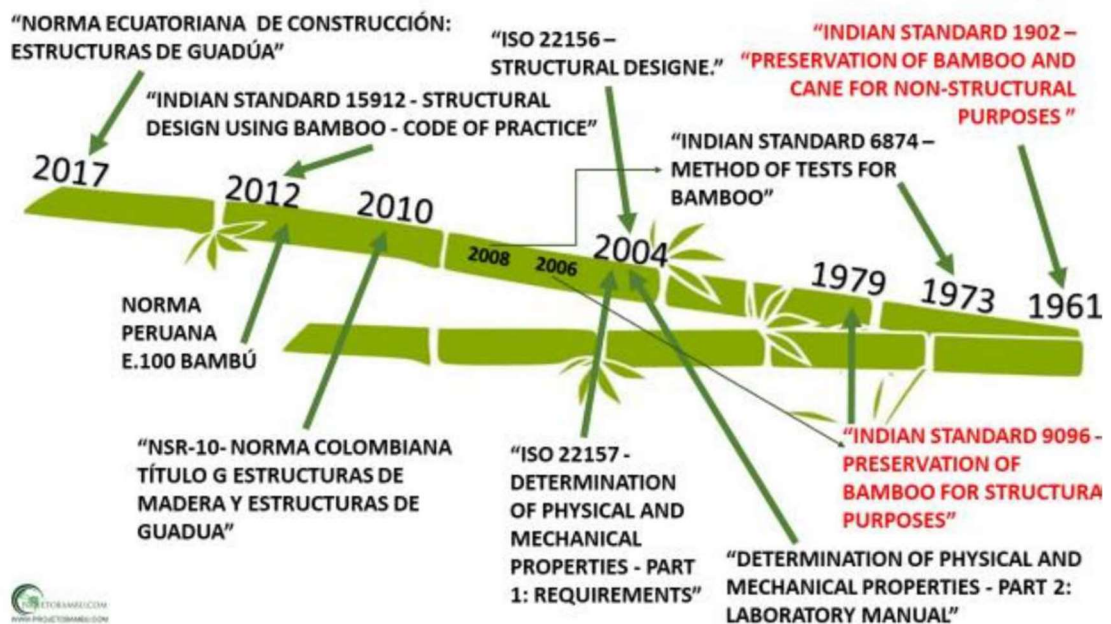
A Organização Internacional de Normalização (ISO) é uma federação global de organismos nacionais de padronização. A elaboração de Normas Internacionais é geralmente conduzida por meio dos Comitês Técnicos da ISO. Cada membro interessado, que representa um órgão nacional, em relação a um determinado assunto, possui o direito de estar presente nessa comissão. Além disso, organizações internacionais, tanto governamentais quanto não-governamentais, associadas à ISO, também participam das atividades normativas.

A ISO possui três normas técnicas que são muito utilizadas para o uso do bambu na construção: a norma ISO 22157 - Determinação de propriedades físicas e mecânicas é dividida em duas partes: Parte 1 – Requisitos e Parte 2 – Manual de

laboratório. A parte de requisitos está organizada para fornecer requisitos claros para testes padrões a serem realizados para determinar as propriedades do bambu como material de construção. A Parte 2 refere-se ao manual para funcionários de laboratório e complementa as informações necessárias para os testes laboratoriais. Utilizando essas normas ISO como base, alguns países possuem normatizações nacionais, adicionando informações pertinentes aos seus sistemas estruturais e problemas relacionados aos locais de implantação das obras, como terremotos e ventos.

Figura 38 - Ordem cronológica das normatizações sobre bambu.

Fonte: Marçal (2012)



3.4.1.2 Normas Internacionais

Em países como Equador, Peru, Colômbia, Índia e China já se encontram consolidadas normas específicas voltadas para estruturas de bambu.

O principal motivo para que estes países sejam pioneiros na normatização do bambu na América do Sul, é o fato de que o bambu pode ser encontrado nesses lugares de forma concreta, nas construções e habitações populares. E seu uso está sendo expandido para construções de maior porte demonstrando assim o potencial do bambu como um material de construção para classes de maior poder aquisitivo.

Com a necessidade de estabelecer padrões para o uso do bambu na construção, esses países intensificaram as pesquisas voltadas para a aplicação do bambu nesse contexto. Grupos de profissionais se uniram e elaboraram normas que pudessem ser utilizadas por outros profissionais, com o objetivo de assegurar o uso

adequado do bambu em construções. Além disso, a abundância de bambus com características propícias para a construção civil é outro fator relevante, especialmente nos países onde o bambu do gênero *Guadua* é uma espécie nativa e amplamente presente em algumas regiões. As normas criadas por esses países são abrangentes, não se limitando apenas aos testes físico-mecânicos de amostras de bambu, mas também incluindo diretrizes para a correta utilização do material em diferentes contextos e formas. Essas normas simplificam a compreensão do uso estrutural do bambu e estabelecem regulamentações para uma variedade de sistemas estruturais.

A. Norma Indiana

Em 1973 surgiu a primeira norma sobre testes físicos mecânicos com bambu, "Indian Standard 6874 – "Method of tests for bamboo" e foi reeditada em 2008. Entretanto a primeira normatização para o bambu na Índia aconteceu em 1961, com o desenvolvimento da norma "Indian Standard 1902 – "Preservation of bamboo and cane for non-structural purposes". Existe também na Índia a norma "Indian Standard 9096 - "Preservation of bamboo for structural purposes", que foi publicada inicialmente em 1979 e reeditada em 2006.

Em 2012, a Índia também introduziu normas para o emprego do bambu na construção, intituladas "Indian Standard (IS) 15912-2012: Structural Design using Bamboo - Code of Practice". Essa padronização foi desenvolvida para simplificar e aprimorar a utilização do bambu na indústria da construção. A Índia abriga mais de 100 espécies de bambu nativas, dentre as quais 16 são recomendadas para fins estruturais e foram submetidas a estudos e testes sistemáticos. Essas 16 espécies foram agrupadas em três categorias, com base em suas características de resistência física.

B. Norma Colombiana

O regulamento colombiano de construções sísmo resistentes (NSR-10 - Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente) é uma norma técnica colombiana promulgada e sancionada em 2010. Essa norma regulamenta as condições necessárias para que as construções apresentem comportamento adequado e resistência estrutural favorável em condições de abalo sísmico.

O Capítulo G.12 dessa norma, apresenta requisitos para aplicação no projeto estrutural de construções cujo elemento estruturante principal é o bambu *Guadua angustifolia* Kunth (bambu nativo da Colômbia). As informações e parâmetros presentes nessa norma podem ser utilizados para o projeto de elementos estruturais construídos integralmente com guadua, ou para estruturas mistas de guadua e outros materiais.

Outras espécies de bambus não são levadas em consideração para o desenvolvimento desta norma, limitando o uso dos parâmetros e recomendações apenas ao bambu *Guadua angustifolia*. Esta norma limita em até dois pisos os projetos estruturais que utilizem o bambu, não permitindo paredes de alvenaria ou paredes de concreto no nível superior da edificação.

Essa regulamentação não se aplica a empreendimentos que envolvam pontes ou estruturas distintas das construções convencionais, tais como habitações, estabelecimentos comerciais, instalações industriais e instituições educacionais. No caso de estruturas com uma área construída que exceda 2.000 metros quadrados, é aconselhável conduzir testes de carga antes de colocá-las em operação.

Além da norma NSR-10, a Colômbia apresenta as normas NTC 5407 - Uniones de Estructuras con *Guadua angustifolia* Kunth e a NTC 5525 - Métodos de Ensayo para Determinar las Propiedades Físicas y Mecánicas de la *Guadua angustifolia* Kunth voltadas para a aplicação do bambu na construção civil (GAION *et al.*, 2005).

Ghavami, Barbosa e Moreira (2017) informam que recentemente foram divulgados na Colômbia dados sobre a espécie *Guadua angustifolia*, incluindo um capítulo destinado aos projetos estruturais com *Guadua* na norma técnica de madeira. Entretanto, segundo os autores, mesmo sendo novo, o documento aplica o método das tensões admissíveis.

C. Norma Peruana

A Norma Peruana NTE E.100, estabelecida em 2012, teve como base as referências das normas ISO e normas Colombianas que foram mencionadas anteriormente. O objetivo central dessa norma é estabelecer diretrizes técnicas a serem seguidas no projeto e na construção de edificações que sejam sismo

resistentes e feitas com bambu, especialmente a espécie *Guadua angustifolia* e outras espécies com características físico-mecânicas semelhantes.

Essa norma peruana é de aplicação obrigatória e tem alcance para edifícios construídos com bambu, desde que tenham até dois pisos e cargas vivas máximas distribuídas de até 250 Kgf/m². Além disso, a norma define que as cargas vivas máximas distribuídas permitidas são de até 2,0 kN/m. Isso reflete o critério estabelecido para a capacidade de carga que a estrutura de bambu deve suportar, levando em consideração diferentes usos e cenários de carga ao longo da construção.

Em resumo, a Norma Peruana NTE E.100, tendo como base as normas ISO e as normas Colombianas, concentra-se em oferecer orientações técnicas rigorosas para a construção de edificações utilizando bambu, com um enfoque especial na resistência sísmica e na segurança estrutural.

D. Norma Equatoriana

A norma equatoriana GPE INEN 42 - Bamboo Caña Guadua, de 1976, para construções com bambu foi desenvolvida por uma equipe liderada pelo Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). Essa equipe contou com a colaboração de profissionais tanto nacionais quanto internacionais, todos com expertise em construções envolvendo bambu. Além disso, a elaboração da norma contou com a participação de entidades tanto públicas como privadas, instituições de ensino superior e teve o valioso envolvimento da Red Internacional de Bambú y Ratán (INBAR) e da Universidad Católica Santiago de Guayaquil (UCSG).

Esta norma equatoriana para construções com bambu foi oficialmente publicada em 2017. Durante o processo de desenvolvimento, foram tomadas como referência normas técnicas significativas. As normas NTE E.100 do Peru, a NSR-10 da Colômbia e as normas internacionais ISO foram fundamentais como guias e fontes de orientação.

O engajamento de diversos grupos de especialistas e a colaboração entre entidades nacionais e internacionais demonstram a abordagem ampla e colaborativa adotada para a formulação desta norma equatoriana. Isso reflete o compromisso em estabelecer padrões rigorosos para a construção com bambu, baseados em práticas bem fundamentadas e experiências diversificadas.

3.4.2 Legislação Brasileira

O bambu como material de construção tem ganhado popularidade devido às suas propriedades de resistência e sustentabilidade. Em alguns estados brasileiros, como São Paulo e Rio de Janeiro, foram estabelecidas normas técnicas estaduais para orientar a utilização do bambu na construção civil.

Em 9 de setembro de 2011, começou a vigorar a Lei Federal nº 12.484 (Anexo I), que estabeleceu a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB) para as espécies nativas e exclusivamente entre os agricultores familiares. O principal objetivo dessa legislação era promover a transformação das espécies de bambu presentes no Brasil em uma espécie de "floresta" produtiva, capaz de gerar empregos, renda e até mesmo créditos de carbono. De acordo com o Artigo 3º dessa política, suas diretrizes incluem a valorização do bambu como um recurso capaz de atender às necessidades ecológicas, sociais, econômicas e culturais; o avanço tecnológico no manejo, aplicações e cultivo do bambu; e o desenvolvimento de centros de manejo sustentável, cultivo e processamento do bambu (BRASIL, 2011). A promulgação dessa lei foi de grande importância para o avanço nas discussões relacionadas ao bambu, pois conferiu respaldo legal ao incentivo ao uso desse material. Isso, por sua vez, gerou um maior interesse em realizar novas pesquisas, o que gradualmente tem contribuído para a superação de preconceitos e para a crescente aceitação do bambu como um recurso genuinamente viável na construção civil brasileira.

No estado do Rio de Janeiro, a Lei Estadual nº 6.719/2014 (Anexo II) reconhece o bambu como material de construção sustentável. A lei estabelece que a administração pública estadual deve adotar o bambu em suas construções sempre que possível, respeitando as normas técnicas vigentes.

No estado de São Paulo, a Lei Estadual nº 15.977/2015 (Anexo III) estabelece diretrizes para a utilização do bambu em projetos e obras públicas. Essa lei incentiva o uso do bambu como alternativa sustentável ao aço e estabelece critérios para a produção, certificação e comercialização de produtos de bambu.

No estado de Goiás, a Lei Estadual nº 20.411/2019 (Anexo IV) institui a Política Estadual de Promoção da Cultura do Bambu com o propósito de fomentar a produção

e reconhecer o valor dessa planta como um meio para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico regional e integrado de Goiás.

No Paraná, a Lei Estadual nº 21.162/2022 (Anexo V) de Promoção da Cultura do Bambu tem como objetivo promover o crescimento agrícola do bambu e reconhecer o valor desse material como uma ferramenta para impulsionar o desenvolvimento socioeconômico sustentável do estado, aproveitando suas diversas aplicações.

No estado de Santa Catarina, a Lei nº 18.341, de 20 de janeiro de 2022 (Anexo VI) institui a Política Estadual de Incentivo ao Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Bambu em Santa Catarina.

3.4.3 Normas da ABNT

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), uma norma técnica é um documento que é elaborado por meio de consenso e aprovado por uma entidade oficialmente reconhecida. Esse documento estabelece regras, diretrizes ou especificações para atividades ou resultados específicos, com o objetivo de estabelecer uma organização eficaz e repetível em um contexto específico. O propósito fundamental das normas técnicas é simplificar e otimizar os processos de desenvolvimento de produtos e prestação de serviços, facilitando assim o comércio e a troca de tecnologia, com base em referências uniformizadas. O objetivo é evitar conflitos regulatórios relacionados a produtos e serviços quando se trata de diferentes países (MELO, 2010).

Em 21/12/2020, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio do Comitê Brasileiro da Construção Civil (CB-002), anunciou oficialmente duas normas brasileiras relacionadas ao uso do bambu como material construtivo em estruturas. Essas normas representam um marco significativo no desenvolvimento e regulamentação do uso do bambu na construção civil.

A primeira norma, NBR-16828-1, abrange o projeto e dimensionamento de estruturas construídas com bambu. Ela fornece diretrizes detalhadas para garantir que as estruturas feitas de bambu sejam projetadas de forma segura, atendendo a padrões de segurança e de qualidade.

Por outro lado, a segunda norma, NBR-16828-2, aborda os métodos de ensaio utilizados para determinar as propriedades físico-mecânicas dos bambus. Esses métodos de teste são essenciais para avaliar e quantificar as características do bambu, incluindo sua resistência e outras propriedades relevantes para o uso estrutural.

Essas normas são um passo importante para consolidar a aplicação segura e eficaz do bambu como material construtivo em estruturas no Brasil. A sua publicação reflete um esforço colaborativo entre diferentes partes interessadas, como universidades, institutos de pesquisa, produtores rurais e entidades de normalização. A criação dessas normas específicas demonstra o compromisso em impulsionar o ciclo produtivo do bambu e a promoção de práticas construtivas sustentáveis e seguras no país.

Assim, a iniciativa de publicar as primeiras normas brasileiras específicas para o uso estrutural de caules de bambu é um passo significativo impulsionado por diversos setores da sociedade. A contribuição de representantes de universidades, institutos de pesquisa, produtores rurais, associações e outros interessados desempenhou um papel fundamental nesse avanço. Essas normas não apenas estabelecem padrões técnicos e de segurança, mas também desempenham um papel crucial na consolidação da cadeia produtiva do bambu no Brasil.

A criação dessas normas demonstra o compromisso com a promoção do uso sustentável e eficiente do bambu na construção civil, um material que oferece potencial para ser uma alternativa viável e ecologicamente amigável. Através dessas normas, as diretrizes para o projeto, dimensionamento e testes das estruturas de bambu são definidas de maneira clara e precisa, contribuindo para a confiabilidade e aceitação mais ampla do material.

Além disso, essa ação pode estimular o crescimento da indústria do bambu no Brasil, criando oportunidades para produtores, construtores, pesquisadores e demais profissionais envolvidos na cadeia produtiva. Ao fornecer um quadro normativo, essas regulamentações podem facilitar a implementação de projetos construtivos inovadores e sustentáveis, contribuindo para um futuro mais resiliente e consciente do meio ambiente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1 Críticas e Sugestões

O bambu se destaca como um material altamente vantajoso devido a uma ampla gama de características, sendo vantajoso por suas propriedades químicas e físicas, aliadas ao crescimento rápido, cultivo simples e baixo custo, o que o posiciona como um recurso versátil, especialmente na construção civil e no design e nas práticas construtivas ecologicamente conscientes.

Na área da construção civil, o bambu apresenta-se como um potencial substituto a materiais tradicionais, como madeira e aço. Sua resistência e durabilidade o tornam uma escolha viável para elementos estruturais, especialmente em locais onde sua abundância é notável, graças ao seu rápido crescimento e capacidade de regeneração, contribuindo assim para uma melhor pegada ambiental.

Além, das aplicações na construção, o bambu também se destaca como agente fito remediador de esgoto, sendo capaz de aprimorar o tratamento de águas residuais e pode ser utilizado como substituto da madeira em móveis e artefatos, desempenhando um papel crucial na conservação de recursos naturais e no sequestro de carbono em sua estrutura, sendo esta característica especialmente relevante para enfrentar os desafios ambientais associados às mudanças climáticas.

No entanto, existem desafios relacionados à implementação do bambu na engenharia, principalmente ligados aos mecanismos de mercado do setor da construção civil e à falta de aceitação efetiva do material pela Sociedade. Contudo, apesar dos obstáculos, existem avanços notáveis observados no paisagismo, culinária, processos terapêuticos e na indústria moveleira. Pois, com esses avanços, tornar-se-á mais tangível a promoção de mudanças no contexto nacional, permitindo promover práticas construtivas mais sustentáveis.

Por outro lado, na pesquisa e inovação devem as autoridades fazer investimentos no desenvolvimento de novas técnicas de processamento, tratamento e construção com bambu, tornando-o mais competitivo em relação a outros materiais de construção.

Também, as autoridades governamentais devem atuar na carência de redes de fornecedores de bambu, o que facilitará a disponibilidade e acesso para programas de construção de moradias populares ou em iniciativas de construção sustentável.

4.2 Recomendações para Futuros Trabalhos

Algumas das futuras soluções para a viabilidade do bambu na construção civil incluem:

- a) Pesquisa no desenvolvimento de novas técnicas de processamento e uso do bambu na construção civil;
- b) Pesquisa nas técnicas de tratamento por imersão em soluções químicas ou em secagem em estufas visando melhorar a resistência e durabilidade do bambu;
- c) Pesquisa no desenvolvimento de normas técnicas específicas para o uso do bambu na construção civil, baseadas nas normas internacionais já existentes e em vigor, visando estabelecer diretrizes confiáveis para os projetistas, construtores e usuários finais, no objetivo da segurança e eficiência do material;
- d) Pesquisa no desenvolvimento de técnicas de processamento na laminagem, colagem e na torção do bambu visando adequar as suas propriedades estruturais;
- e) Pesquisa de viabilidade econômica na utilização do bambu na construção civil entre construtores e usuários finais, especialmente em regiões onde o bambu é abundante e acessível.

Assim, com a constante pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas e soluções, o bambu tem potencial para se tornar um material de construção ainda mais viável e sustentável no futuro.

REFERÊNCIAS

Referências Bibliográficas

- ABROL, Yash P. (2012). Environmental Pollution and Control. New Delhi: Firewall Media.
- ALMEIDA, L. G. (2014) Tecnologia de fibras, técnicas de fiação e tecelagem; controle de qualidade.
- AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.189-197, 2001.
- 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.
- ASAMOAHA, R.; OFORI-SARPONG, G.; AMANKWAH, R. Biosorption of heavy metals from wastewater using Bambusa vulgaris (Bamboo). In: UMAT BIENNIAL INTERNATIONAL MINING AND MINERAL CONFERENCE DOI, 2., 2012, Tarkawa, Anais [...], University of Mines and Technology: ResearchGate, p. 56-61, 2012.
- AZAMBUJA, M.A. Execução e montagem de galpão oficina com componentes de bambu. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 13, 2012, Vitória. Anais... Vitória: UFES, 2012.
- AZZINI, A., SANTOS, R.L. PETTINELLI JÚNIOR, A. BAMBU: Material alternativo para construções rurais. Campinas, SP, Instituto Agrônomo de Campinas, Boletim Técnico, n. 171, p. 1-18, 1997
- BARNES, P. W. Ozone depletion, ultraviolet radiation, climate change and prospects for a sustainable future. Nature Sustainability, v. 2, n. 7, p. 569–579, 24 jul. 2019.
- BARRETO, B. V.; SANCHES, J. L. G.; ALMEIDA, T. L. G.; RIBEIRO, S. E. C. O BIM no Cenário de Arquitetura e Construção Civil Brasileiro. Open Journal Systems, v. 08, n. 02, Jul/Dez, 2016.
- BENAVIDES, A.S.J. Proposta de sistema construtivo para habitação de interesse social com bambu guadua: um estudo de caso no Equador. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado)-Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BERALDO, Antonio L.; PEREIRA, Marco Antonio. Bambu de corpo e alma. Bauru: Canal, v. 6, p. 240, 2008.
- BORGES, L.; FARIA, B. M.; ODEBRECHT, C.; ABREU, P. C. Potencial de Absorção de Carbono por Espécies de Microalgas Usadas na Aquicultura: Primeiros Passos para o Desenvolvimento de um “Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Rio Grande, Atlântica, 29(1): 35-46, 2007.
- COLTRI, P.P; ZULLO JR, J.; GONÇALVES, Renata Ribeiro do Valle; ROMANI, Luciana Alvim S; PINTO, Hilton Silveira. Estimativa de Biomassa e Estoque de Carbono da Safra de Café com Uso de Imagens de Satélites de Alta Resolução. IEEE Geoscience & Remote Sensing Society, 2013.

DELGADO, P. S. O bambu como material eco-eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

DIAS, K. B.; BARREIROS, R. M. Potentiality of Tall Oil as Preservative for Wood. *Chemical and Biomolecular Engineering*, [S.l.], v. 2, n. 4, p. 180-183, nov./jan. 2018.

DURIGAN, G. Estimativas de Estoque de Carbono na Vegetação Natural do Estado de São Paulo. *Estudos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo*, 2004.

FARRELY, David. *The book of bamboo*. San Francisco, EUA. Sierra Club Books. 1984, 340p.il.

FRANKE, Steffen; FRANKE, Bettina; SCHARMACHER, Florian. Assessment of Timber Structures Using the X-Ray Technology. *Advanced Materials Research*, [s.l.], v. 778, p.321-327, set. 2013. Trans. Tech. Publications. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.778.321>.

FREITAS, R. C. F., MELHADO, S. B., CARDOSO, F. F. Os desafios e os esforços da cadeia produtiva da construção civil para a adoção do BIM. In: *Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

GHAVAMI, K. & MARINHO, A.B. Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mosó, Matake, *Guadua angustifolia*, *Guaduatagoara* e *Dencrocalamus giganteus* para utilização na engenharia. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2001. 40 p.74

GHAVAMI, K.; ALLAMESH, S. M.; SANCHEZ M. L. C.; SOBOYEJOW. O. Multiscale study of bamboo *phyllostachys edulis*. *Inter Americanon Non-Convencional Materials and Technologies in the Eco-Constructionand Infrastructure*, João Pessoa Brasil, Anais. CD-ROM, isb85-98073-02-04, 2003.

GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P. Bambu. In: ISAIA, G. C. (Org./Ed.). *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. São Paulo: IBRACON, 2007. p. 1559-1589.

GHAVAMI, K.; HOMBEECK, R.V. Application of bamboo as a construction material. Part I- Mechanical properties & water – repellent treatment of bamboo, Part II- Bamboo reinforced concrete beams. In: *LatinAmerican Symposium on Rational Organization of Building Applied toLow Cost Housing*, São Paulo, 1981. Proceedings...São Paulo: IPT/CIB,1981, v.1.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Construções Rurais e Ambiência -Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, On-line version ISSN 1807-1929. vol.9 no.1 Campina Grande, PB. Jan./Mar. 2005.

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

GHAVAMI, K; HOMBECK, R. V. Mechanical properties and water-repellent treatment of bamboo. In: Latin American Symposium Rational Organization of Building Applied to Low Cost Housing. 1981, São Paulo. Proceedings... São Paulo: IPT/CIB, 1981. v.1, p.49-55.

GHAVAMI, Khosrow. Bamboo: Low cost and energy saving construction materials. In: International Conference On Modern Bamboo Structures, 1., 2007, Changsha. Proceedings. London: Crc Press, 2008. p. 5 - 21.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GRATÃO, P.L. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. Brazilian Journal of Plant Physiology, Brasília, v.17, n.1, p.53-64, 2005.

HERNANDES, Z.T. Piso de bambu chinês vs. piso de eucalipto brasileiro: estudo de caso comparativo das emissões de gases de efeito estufa no transporte. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212015000100002>

HIDALGO- LÓPEZ, Oscar. Bamboo: The gift of the gods. Colômbia: Oscar Hidalgo, 2003. 553p.

INBAR - International Network of Bamboo and Rattan. *Priority species of bamboo and rattan*. New Delhi, India. f.116, 1998

JANSSEN, J. J. A. Designing and Building with AoIP. Eindhoven: INBAR, 2009

JARAMILLO, A.; PATRÍCIO-KARNOFF, Z., LIBRELOTTO, L.. Durabilidad de materiales naturales de construcción: percepciones de proyectistas, constructores y usuarios en Florianópolis – Brasil. Revista de Arquitectura, Bogotá.

JOHN, Vanderley; SATO, Neide Matiko Nakata. Durabilidade de componentes da construção. In: SATTler, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay (Ed.). Coletânea Habitar: Construção e meio ambiente. Porto Alegre: ANTAC, 2006. Cap. 2. p. 20-57.

KAMINSKI, Sebastián et al. Structural use of bamboo: Part 2: Durability and preservation. The Structural Engineer, Londres, v. 94, n. 1, p.38-43, out. 2016.

KAUR, P. Eco-friendly preservation of bamboo species: traditional to modern techniques. Bioresources, Raleigh, v. 11, n. 4, p.1-21, 2016b.

KLEINE, Hans J. Bambu: Tecnologia da durabilidade. Florianópolis: Bambusc, Giem., 2010. 38 p.

LANA, S. L.; DELGADO, P. S.; AYRES, E.; ORÉFICE, R. L. The Potencial of Bamboo for the Design of Polymer Composites. In. Materials Research. 2012.

LIESE, W. Anatomy of bamboo. In: Bamboo research in Asia, 1980, Ottawa. Proceedings...Ottawa: IDRC, 1980.

LIESE, W. The anatomy of bamboo culms. Technical Report, International Network for Bamboo and Rattan, Beijing, Eindhoven, New Delhi, 1998. 203 p.

- LIESE, W. The Structure of Bamboo in Relation to its Properties and Utilization. Proceedings of the International Symposium on Industrial Use of Bamboo. Beijing. p. 95-100. 1992.
- LIESE, W.; KUMAR, S. Bamboo preservation compendium. Centre for Indian Bamboo Resource and Technology, New Delhi, 2003.
- LIESE, W. A personal reflection on 60 years of bamboo passion and work. Proceedings of the 9th World Bamboo Congress. Antwerp: 2012.
- 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.
- LIMA Jr, H. C; WILLRICH, F. L.; FABRO Jr, G. Vigas de concreto reforçado com bambu *Dendrocalamus giganteus*. II: Modelagem e critérios de dimensionamento. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 652-659, 2005.
- LIMA Jr., H. C.; XAVIER, A. C.; BARBOSA, N. P.; TOLEDO Filho, R. D. Aderência bambu-concreto. In: Congresso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Juiz de Fora, 2, 1996, Anais... Juiz de Fora: UFJF, 1996, v.1, p.312-323.
- LIU, D.; ZOHONG, T.; CHANG, P. R.; LI, K.; WU, Q. Starch composites reinforced by bamboo cellulosic crystals. Bioresource Technology 101 (2010) 2529–2536.
- LOPEZ, H. O. Bamboo, The gift of the gods. Oscar Hidalgo Lopez editor, 2003, 553 p.
- MACGREGOR, J. G. Reinforced concrete, mechanics and design. New York: Prentice Hall, 1997, 939p.
- MARCONI, M, A; LAKATOS, E. M.; Fundamentos de metodologia científica. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- MARÇAL, V.H.S. Análise Comparativa De Normas Técnicas Internacionais Para O Emprego Do Bambu – Colmo Em Estruturas Prediais. Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação do Curso de mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília - UNB. Brasília, 2018.
- MASTAI, Y. Materials science-advanced topics. 1a ed. Intechopen, 2013.
- MATSUOKA, Jéssica Harue; BERALDO, Antonio Ludovico. Avaliação do tratamento preservativo de taliscas de bambu com ácido pirolenhoso. Revista Floresta, Curitiba, v. 44, n. 1, p.11-20, jan. 2014.
- MEDEIROS, Sara Raquel Fernandes Queiroz de. A casa própria: Sonho ou realidade? Um olhar sobre os conjuntos habitacionais em Natal. 2007. 111p. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) - Centro de Ciências Humanas letras e artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- MESQUITA, L. P.; CZARNIESKI, C. J.; FILHO, A. C. B.; WILLRICH, F. L.; LIMA JÚNIOR, H. C.; BARBOSA, N. P. Determinação da tensão de aderência do bambu-concreto; Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental; v.10, n.2, p.505–516; Campina Grande, PB, 2006.

- MOREIRA, L.E. Desenvolvimento de estruturas treliçadas espaciais de bambu. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 1991. 172p National Mission On Bamboo Applications - NMBA, Technology, Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC). Government of India, 2004
- MORESCHI, João Carlos. Biodegradação e preservação da madeira. In: MORESCHI, João Carlos. Apostila. Curitiba: Departamento da Engenharia Florestal da UFPR, 2013. p. 1-53.
- MORÉ, T.N.M. Estrutura treliçada em bambu para utilização em telhados residenciais. 2003. 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.
- NMBA - National Mission on Bamboo Applications. Technology, Information, Forecasting and Assessment Council (TIFAC). Government of India, 2004
- OLIVEIRA, D.; PEREIRA, J. P.; RAMOS, A. L. M.; CARAMORI, P. H.; MARUR, C. J.; MORAIS, H.; WAGNER-RIDDLE, C.; VORONEY, P. Carbono na biomassa e na respiração do solo em plantio comercial de seringueiras no Paraná. In: Sequestro de carbono: quantificação em seringais de cultivo e na vegetação natural. Alvarenga, A.P. e Carmo, C.A.F.S., editores. Viçosa, MG, p: 201-214. 2006.
- OLIVEIRA, T. L. de; FERNANDES, C. A.; OLIVEIRA, M. de F. Florestas, unidades de conservação e comunidade tradicional: relato de experiência de uma intervenção participativa. Percepção ambiental de moradores do assentamento vale verde: relato de experiência de uma intervenção participativa. PROEX, Santa Catarina, v. 1, n. 2, p.25-32, dez. 2011.
- PEREIRA, M. A. Bambu: espécies, características e aplicações. Bauru, São Paulo: Editora da UNESP, 2001. 58 p.
- PEREIRA, M. A. R.; BERALDO A. L. Bambu de corpo e alma, Bauru, Editora Canal 6, 2007.
- QUEGE, v(10), nº 10, p. 2069-2080, JAN-ABR, 2013. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental (e-ISSN: 2236-1170).
- REIS, M. G. F. Sequestro e Armazenamento de Carbono em Florestas Nativas e Plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo. In: Seminário Emissão X Sequestro de CO₂, Rio de Janeiro, 1994. Anais... Rio de Janeiro: Companhia Vale do Rio Doce, 1994.
- ROHR, Franciele. Utilização do bambu em estruturas de casas populares. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE CONSTRUÇÕES SUSTENTÁVEIS, 4., 2015, Passo Fundo. Fórum. Passo Fundo: Fórum, 2015. p. 1 - 8.
- ROSA, S. P. A. P. Análise teórica e experimental de colunas de concreto armado com bambu. Rio de Janeiro: PUC, 2002. 135p. Dissertação Mestrado
- SASTRY, C.B. Timber for the 21st Century. on line. Inbar, 1999.
- SCHNOOR, J. L. (ed.) (2000). Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants. John Wiley & Sons.

SILVA, R.G. Occurrence of filamentous fungi on *Dendrocalamus giganteus* in Brazil. In: WORLD BAMBOO CONGRESS, 8., 2009, Bangkok.

SILVA, R. M. C. O Bambu no Brasil e no Mundo. Instituto EU. Rio de Janeiro. 2005.

SILVA, Thiago Alves da; VIGA, Erlângela Rocha; SOUZA, Raquel Rodrigues de; Silva, Berenice Kussumoto de Alcântara da. Potencial do bambu (*Bambusa vulgaris*) no tratamento de efluentes domésticos. *Scientia Naturalis*, v. 3, n. 5, p. 2383-2389, 2021.

SIMÃO, A.; ALCOFORADO, L.; LONGO, O.; DOS SANTOS, D.; DOS SANTOS, F.; SILVA, A.; MENEZES, C.; MEIRELLES JÚNIOR, J. Impactos da indústria 4.0 na construção civil brasileira. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 1967019685. 2019. Doi: 10.34117/bjdv5n10-183

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 boucherie modificado. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 1, p. 124-133, 2015.

US Environmental Protection Agency. *Phytoremediation: Technology Development and Current Status*. 2000.

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.

WALTER, T. P.; BACK, A. J. Qualidade da água em bacia hidrográfica com mineração de carvão: estudo de caso da bacia do Rio Tonim, município de Criciúma, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 18., Campo Grande. Anais [...], Campo Grande: ABRH, 20 p. 2009.

WANG, Xiaoqing; REN, Haiqing. Comparative study of the photo-discoloration of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel) and two wood species. *Applied Surface Science*, [s.l.], v. 254, n. 21, p.7029-7034, ago. 2008.

Referências Normativas

ABNT.NBR 16828-1 Estruturas de bambu - Parte 1: Projeto, 2020

ABNT.NBR 16828-2 Estruturas de bambu - Parte 2: Determinação das propriedades físicas e mecânicas do bambu, 2020

ABNT.NBR 5739 - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto: método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1994, 7p.

ABNT.NBR NM 248 - Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 7p.

ABNT.NBR NM 52 – Agregado miúdo – Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 1987, 7p.

ABNT.NBR NM 53 – Agregado graúdo – determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003, 7p.

E100 BAMBÚ, N. T. Norma técnica E. 100 Bambú. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2012.

NEC-SE-GUADUA. Norma Ecuatoriana de la construcción - Estructuras de GuadúaEcuadorMinisterio de Desarrollo Urbano y Vivienda. 2016.

NSR-10. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR-10. Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua. Anais...Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 1997

Indicações Eletrônicas

Site 1. AECWeb – Disponível em: <<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/bambu-pode-suportar-carga-superior-a-do-proprio-aco/9455>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 2. AGENDA 21 PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Disponível em: <http://www.sustainablesettlement.co.za/docs/a21_discussiondoc.pdf>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 3. ALERJ – Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.alerj.rj.gov.br/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 4. ALESP – Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/norma/176323>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 5. Apuana 2019 – UNICAMP. Disponível em: <<http://apuama.org/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 6. ARTIGOS UNICAMP. Disponível em: http://www.labor.unicamp.br/midiaciencia/article.php3?id_article=679. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 7. Bambusa.es. Disponível em: <<https://bambusa.es/pt-pt/caracteristicas-do-bambu/acv-analise-do-ciclo-de-vida-bambua-guadua/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 8. BambuSC – Associação Catarinense do Bambu. Disponível em: <<https://bambusc.org.br/o-bambu-e-o-meio-ambiente/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 9. BAMCRUS. Disponível em: <http://www.bamcrus.com.br/index_principal.htm>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 10. Bambu Escola (2011) - Disponível em: <https://youtu.be/lt646YvwpYs?si=c_DTZIRh2512veu4>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 11. Bamboo Biodiversity (2015) – Disponível em: <<https://www.eeob.iastate.edu/research/bamboo/maps.html>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 12. BambuWiki (2019) – Disponível em: <<https://www.bambu.wiki.br/tratamento/2019/08/01/preservacao-na-agua/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.

Site 13. BDTD – Disponível em: <http://bdttd.ibict.br/vufind/Record/UFAL_79433f6c7314128ba904014438dad870>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.

- Site 14. CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – USP. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/>> Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 15. CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/oxigenio%20dissolvido/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 16. Ciclo Vivo. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/por-que-o-bambu-materia-prima-do-futuro/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 17. CNPQ. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/editais/ct/2008/025.htm>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 18. ComCiência. Disponível em: <<https://www.comciencia.br/dossies-1-72/reportagens/clima/clima07.htm>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 19. COP26 – Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/clima/o-saldo-da-cop26-o-que-conferencia-do-clima-significou-para-o-brasil-e-o-mundo>> Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 20. DEAg/UFCG, 2006. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 21. EcoDEbate. Disponível em: <<https://www.ecodebate.com.br/2019/07/04/uso-de-bambu-na-construcao-civil-artigo-de-roberto-naime/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 22. EMBRAPA. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34230725/bambu-e-alternativa-de-renda-na-producao-familiar>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 23. Geoconceição (2012) – Disponível em: <<http://www.natureba.com.br/aquecimento-global.htm>> Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 24. Guia do Agricultor 2012 – Disponível em: <<https://guiadoagricultormandriao.blogspot.com/2012/05/semana-de-colheita-de-bambu-de-14-de.html>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 25. GUADUABAMBOO. Guadua Bamboo. Disponível em: <<https://www.guaduabamboo.com/>> Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 26. GRUPO BAMBU BRASIL. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 27. Grupo de Trabalho de pecuária sustentável 2021 – Disponível em: <<https://gtps.org.br/noticias/novas-metas-para-emissao-de-metano-aumentam-pressao-sobre-o-brasil>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 28. INBAMBU. Disponível em: <<http://carlosmeloescultor.tripod.com/id10.html>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 29. Instituto Oceanográfico, USP. Disponível em: <<https://www.io.usp.br/index.php/oceanos/textos/antartida/1135-xxix-biorremediacao-como-alternativa-no-impacto-ambiental-causado-pela-ocupacao-humana-na-antartida.html>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 30. Jurisprudência – Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/20657/breves-consideracoes-sobre-a-lei-n-12-484-2011-instituidora-da-politica-nacional-de-incentivo-ao-manejo-sustentavel-e-ao-cultivo-do-bambu-pnmc>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 31. Library. Disponível em: <<https://1library.org/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 32. Mapa da Obra. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/negocios/concreto-armado-com-bambu/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 33. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI, 2014) – Disponível em: <<https://anpei.org.br/ministro-da-ciencia-tecnologia-e-inovacao-apresenta-prioridades-para-2014/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.

- Site 34. MERCEDES BENZ. Disponível em: <http://www.gbodiesel.com.br/noticias_detalhes.php?id=150>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 35. Monografias Brasil-Escola. Disponível em: <<https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/dimensionamento-comparativo-cobertura-feita-com-bambu-com-madeira.htm>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 36. Pergunta ao Agrônomo. Disponível em: <<https://pergunteaoagronomo.com.br/fitorremediacao>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 37. Profissão Biotec 2021 – Disponível em: <<https://profissaobiotec.com.br/emissao-metano-na-pecuaria-biotecnologia-pode-ajudar/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 38. PROTOCOLO DE QUIOTO. Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br/doc_quioto.php> Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 39. PROTOCOLO DE QUIOTO. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto.html>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 40. Rede Brasileira do Bambu. Disponível em: <<https://www.rbbambu.com/normas>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 41. REDE SOCIAL DO BAMBU. Disponível em: <<http://bamboo.ning.com/profiles/blogs/bambu-e-alternativa-para>> Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 42. SEBRAE. Cadeias produtivas dinâmicas e oportunidades de negócios. 2008. Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/Sebrae/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 43. Sitio Vagalume. Disponível em: <<https://sitiovagalume.eco.br/bambu-alastrante/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 44. UFG – Disponível em: <<https://jornal.ufg.br/n/94838-bambu-viabiliza-tratamento-natural-de-esgoto>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 45. UFSC – Materioteca. Disponível em: <<https://materioteca.paginas.ufsc.br/bambu/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.
- Site 46. UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Disponível em: <<https://unfccc.int/>>_Acesso em: 30 de agosto de 2023.