

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EVELIN LUANI MONTAGNA
SHAYANE BETIATTO DOS SANTOS**

**PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DE ELEMENTOS FLETIDOS DE
MADEIRA POR UM MATERIAL COMPOSTO DE BAMBU E MADEIRA
REVESTIDOS COM EMBALAGENS PET**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PATO BRANCO
2016**

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

EVELIN LUANI MONTAGNA
SHAYANE BETIATTO DOS SANTOS

**PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DE ELEMENTOS FLETIDOS DE
MADEIRA POR UM MATERIAL COMPOSTO DE BAMBU E MADEIRA
REVESTIDOS COM EMBALAGENS PET**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção de título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Paôla Regina Dalcanal

Co-orientador: Prof. Dr. Fabiano Ostapiv

PATO BRANCO

2016

TERMO DE APROVAÇÃO

PROPOSTA DE SUBSTITUIÇÃO DE ELEMENTOS FLETIDOS DE MADEIRA POR UM MATERIAL COMPOSTO DE BAMBU E MADEIRA REVESTIDOS COM EMBALAGENS PET

EVELIN LUANI MONTAGNA

E

SHAYANE BETIATTO DOS SANTOS

No dia 24 de junho de 2016, às 13h00min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº 18-TCC/2016.

Orientador: Prof^a. Dr^a. PAÔLA REGINA DALCANA (DACOC/UTFPR-PB)

Co-orientador: Prof. Dr. FABIANO OSTAPIV (DAMEC/UTFPR-PB)
Profa. Dra. Elizangela Marcelo Siliprandi

Membro 1 da Banca: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Msc. NORMELIO VITOR FRACARO (DACOC/UTFPR-PB)

AGRADECIMENTOS

Durante todo esse tempo de trabalho, tivemos muitas pessoas as quais agradecemos imensamente por estarem ao nosso lado dando apoio, carinho e compreensão, agradecemos a todos vocês: Almir, Antônio, Bruno, Cleudes, Deisy, Eloa, Gabriel, Jacir, Janiel, Larissa, Rafael, Rosimar.

Aos nossos orientadores, professora dra. Paola Regina Dalcanal e professor dr. Fabiano Ostapiv, que com muita calma e dedicação, nos auxiliaram e prestaram o suporte necessário. Aos professores Gustavo e Normélio, que além das dicas, nos ajudaram durante o desenvolvimento deste trabalho.

Sem esquecer de Deus pela magnitude do dom da vida, e a oportunidade de ter nos tornado amigas.

A todos nosso muito obrigada.

RESUMO

O presente trabalho aborda um estudo que busca encontrar novas possibilidades de materiais para serem utilizados na construção civil, que atendam as expectativas do tema sustentabilidade. O estudo principal será a substituição de terças de madeira, um elemento estrutural do sistema de cobertura, por terças compostas de madeira e bambu, revestidas por embalagens PET. Para isso foram analisados corpos de prova de madeira e do composto (madeira/bambu/PET) através dos ensaios de flexão, densidade básica e densidade aparente. Como não existem normas brasileiras para o estudo do bambu, utilizou-se a NBR7190:1997, adaptando-a quando necessário. A importância desse trabalho se justifica pela necessidade de pesquisar e comprovar a eficiência de materiais alternativos, que possam minimizar os impactos hoje causados pelos métodos tradicionais, de forma segura e barata. Os resultados obtidos foram satisfatórios, pois os corpos de prova do composto tiveram valores de resistência adequado para essa substituição, além de ter um peso menor que as terças tradicionais.

Palavras-chave: Materiais alternativos. Bambu *Bambusa tuldooides*. Terças de cobertura. Flexão. Densidade.

ABSTRACT

This paper discusses a study that seeks new opportunities for materials to use in construction that meet the expectations regarding the theme sustainability. The main objective of the study will be the replacement of timber purlins, which is a structural element of the roofing system composed by purlins wood and bamboo and coated with PET. For this propose an analysis of the wood specimens and the compound (wood/bamboo/PET) were made through bending tests, specific gravity tests and bulk density tests. As there are no standards in Brazil to study the bamboo was used to NBR7190:1997, adapting it when necessary. The importance of this work is justified by the necessity of investigating and proving the efficiency of alternative materials that can minimize the impacts caused by today's traditional methods and still provide a safe and economical construction. The results were satisfactory, as the tested compound bodies have resistance values that are suitable for such replacement and also have a lower weight than the traditional purlins.

Keywords: Alternative materials. Bamboo *Bambusa tuldoides*. Roofing purlins. Bending test. Density.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PAÍSES ONDE HÁ INCIDÊNCIA DE BAMBU	16
FIGURA 2 – BAMBU DA ESPÉCIE <i>BAMBUSA TULDOIDES</i>	17
FIGURA 3 – TOUCEIRA DE <i>BAMBUSA TULDOIDES</i>	18
FIGURA 4 – CATEDRAL ALTERNA <i>NUUESTRA SEÑORA DE LA PROBREZA</i>	21
FIGURA 5 – ESTACIONAMENTO DO ZOOLOGICO DE <i>LEIPZIG</i>	21
FIGURA 6 – TAJ MAHAL EM BAMBU	22
FIGURA 7 – ESTRUTURA EM ARCO DE MADEIRA.....	25
FIGURA 8 – PÓRTICO EM MADEIRA.....	25
FIGURA 9 - COBERTURAS EM TRELIÇAS.....	26
FIGURA 10 – PARTES DE UM TELHADO	28
FIGURA 11 – EMENDA DE TERÇAS.....	29
FIGURA 12 – EVOLUÇÃO DAS ESTRUTURAS DE COBERTURA JAPONESAS COM BAMBU.....	30
FIGURA 13 – TELHADO DE BAMBU	31
FIGURA 14 - AEROPORTO DE BARAJAS, MADRI, ESPANHA.....	32
FIGURA 15 – FORMA PRÁTICA DE ARMAZENAR OS PET'S.....	35
FIGURA 16 – COLMOS DE BAMBU DISPOSTOS INVERSAMENTE	36
FIGURA 17 – ENSAIO DE FLEXÃO SIMPLES: CORPOS DE PROVA DE MADEIRA, BAMBU E PET NO PÓRTICO	40
FIGURA 18 – ENSAIO DE FLEXÃO SIMPLES: CORPOS DE PROVA DE MADEIRA NO PÓRTICO	41
FIGURA 19 - FLECHA APROXIMADA EM 5 CM.....	41
FIGURA 20 – CORPO DE PROVA BF11: LOCAL DE APLICAÇÃO DA CARGA – CARGA MÁXIMA DE 13,13 KN	44
FIGURA 21 – CORPO DE PROVA BF11: APÓS APLICAÇÃO DE CARGA – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 13,13 KN	44
FIGURA 22 – CORPO DE PROVA BF6: DIFERENÇA DE ESPESSURAS DA PAREDE DO COLMO – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 16,46 KN.....	45
FIGURA 23 – CORPO DE PROVA BF9: COLMOS COM ESPESSURAS UNIFORMES – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 11,37 KN	45
FIGURA 24 – CORPO DE PROVA BF2: NÓS NOS COLMOS DE BAMBU PRÓXIMOS A EXTREMIDADE – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 12,57 KN .	46
FIGURA 25 – CORPO DE PROVA BF4: CORPO DE PROVA TORCIDO – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 10,03 KN	47
FIGURA 26 – CORPO DE PROVA BF4: APLICAÇÃO DE CARGA NO CORPO DE PROVA – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 10,03 KN	47

FIGURA 27 – CORPO DE PROVA BF8: ROMPIDO POR TORÇÃO – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 8,26 KN	48
FIGURA 28 – CORPO DE PROVA BF8: ROMPIDO POR TORÇÃO– CARGA MÁXIMA APLICADA DE 8,26 KN	48
FIGURA 29 – CORPO DE PROVA BF5: APLICAÇÃO DE CARGA ENTRE OS NÓS– CARGA MÁXIMA APLICADA DE 8,97 KN.....	49
FIGURA 30 – CORPO DE PROVA MF05: ANTES DE SER ENSAIADO – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 8,43 KN	51
FIGURA 31 - CORPO DE PROVA MF05: DEPOIS DE SER ENSAIADO – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 8,43 KN	51
FIGURA 32 – CORPO DE PROVA MF05: NÓ PRESENTE – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 8,43 KN	52
FIGURA 33 – CORPO DE PROVA MF4: ROMPIMENTO PRÓXIMOS AOS NÓS – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 11,05 KN.....	53
FIGURA 34 – CORPO DE PROVA MF1: ROMPIMENTO PRÓXIMOS AOS NÓS – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 11,97 KN.....	53
FIGURA 35 – CORPO DE PROVA MF6: SEM NÓS – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 25,06 KN	54
FIGURA 36 – CORPO DE PROVA MF6: RUPTURA POR FLEXÃO – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 25,06 KN	54
FIGURA 37 – CORPO DE PROVA MF10: PEQUENO NÓ PRESENTE – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 18,72 KN	55
FIGURA 38 – CORPO DE PROVA MF11: PEQUENO NÓ PRESENTE – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 21,89 KN	55
FIGURA 39 – CORPO DE PROVA MF10: ROMPIMENTO OCORREU NO NÓ – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 18,72 KN.....	56
FIGURA 40 – CORPO DE PROVA MF11: ROMPIMENTO POR FLEXÃO – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 21,89 KN	56
FIGURA 41 - ROMPIMENTO POR CISALHAMENTO – CARGA MÁXIMA APLICADA DE 13,71 KN	57
FIGURA 42 - CORPOS DE PROVAS DE MADEIRA E BAMBU ENVOLVIDOS COM PET DEFORMADOS APÓS ENSAIO DE DENSIDADE	58
FIGURA 43 – CORPO DE PROVA DE BAMBU E MADEIRA, ENVOLTOS POR BARBANTE.....	59
FIGURA 44 – CORPOS DE PROVA DE MADEIRA	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA DA ESPÉCIE <i>PINUS ELLIOTTII</i>	23
TABELA 2 – RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO SIMPLES DOS CORPOS DE PROVA DE MADEIRA, BAMBU E PET	43
TABELA 3 - RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO SIMPLES DOS CORPOS DE PROVA DE MADEIRA MACIÇA	50
TABELA 4 – DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE CARGAS APLICADAS NOS CORPOS DE PROVA DE MADEIRA E DE MADEIRA, BAMBU E PET	57
TABELA 5 – RESULTADOS DO ENSAIO DE DENSIDADE BÁSICA DOS CORPOS DE PROVA DE BAMBU E MADEIRA	60
TABELA 6 – RESULTADOS DO ENSAIO DE DENSIDADE BÁSICA DOS CORPOS DE PROVA DE MADEIRA	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3 JUSTIFICATIVA	13
2. REFENCIAL TEÓRICO	15
2.1 SUSTENTABILIDADE	15
2.2 A PLANTA BAMBU	15
2.2.1 A ESPÉCIE <i>Bambusa tuldoides</i>	16
2.2.2 FORMAS DE UTILIZAÇÃO DO BAMBU NA ENGENHARIA	18
2.2.3 VANTAGENS DO USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	19
2.2.4 DESVANTAGENS DO USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL	20
2.2.5 CONTRUÇÕES EM BAMBU.....	20
3. A MADEIRA <i>Pinus elliottii</i>	23
3.1 SISTEMAS DE COBERTURA.....	24
3.1.1 SISTEMA DE COBERTURA EM MADEIRA	24
3.2 UTILIZAÇÃO DE BAMBU EM TELHADOS	29
4. PET – POLIETILETO TEREFTALATO	33
4.1 O USO COMBINADO DE BAMBU/PET NA ENGENHARIA CIVIL	33
5. METODOLOGIA.....	34
5.1 MATERIAIS	34
5.2 PREPARO DOS CORPOS DE PROVA.....	35
5.2.1 Corpo De Prova Para Caracterização Física	37

5.2.2 Corpo De Prova Para Caracterização Mecânica.....	37
5.3 ENSAIOS	38
5.3.1 Caracterização Física: Densidade Básica.....	38
5.3.2 Caracterização Mecânica: Flexão Simples	39
6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	40
6.1 ENSAIO DE FLEXÃO SIMPLES	40
6.1.1 CORPOS DE PROVA COMPOSTO	42
6.2.2 CORPOS DE PROVA DE MADEIRA MACIÇA	49
6.2 ENSAIO DE DENSIDADE BÁSICA.....	58
7. CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da construção civil está associado à inovação. Porém, diante de preocupações com a escassez de recursos naturais e as mudanças climáticas, faz-se necessário o uso mais consciente dos materiais disponíveis, ou a utilização de produtos mais sustentáveis, produzidos por processos menos poluidores, perdulários, insalubres e perigosos (FREITAS, *et al.*, 2011).

“Qualquer empreendimento humano para ser sustentável deve atender, de modo equilibrado, a quatro requisitos básicos: adequação ambiental; viabilidade econômica, justiça social e aceitação cultural” (CONSTRUÇÃO, 2008, p. 14).

Segundo Oliveira (2006), é inadmissível aceitar prejuízos causados a população e ao meio em que se vive. Na utilização de materiais construtivos alternativos e de baixo custo, é indispensável a busca de inovação tecnológica que aumente o horizonte da sustentabilidade para o meio urbano.

Mediante tal situação, o bambu surge como alternativa por ser considerado um material versátil e sustentavelmente viável. Seu uso é variado na decoração, na arquitetura e na construção civil. Exemplos disso são a fabricação de peças estruturais, a substituição de blocos cerâmicos em paredes, fixação e sustentação de forros, além de telhados e pisos (SOUZA, 2002).

Com esses desafios em mente, este trabalho aborda a concepção e o ensaio de um material composto de colmos de bambu da espécie *Bambusa tuldooides* com tábuas de madeira *Pinus Elliottii* revestidos por embalagens PET reutilizadas, buscando a substituição de elementos fletidos de madeira, como por exemplo a terça de madeira de um sistema de cobertura.

A inexistência de normas para o uso do composto é um inconveniente. Neste trabalho foram estudadas e adaptadas as normas já existentes, tendo como base a NBR 7190:1997 – Projeto de Estruturas de Madeira. Também foram feitas pesquisas bibliográficas e ensaios comparativos entre as terças com substituição parcial de madeira por bambu/madeira/PET e as terças feitas apenas de madeira.

1.1 OBJETIVO GERAL

Investigar o uso do bambu na construção civil em elementos fletidos de madeira, buscando estudar a substituição parcial da madeira por peças de bambu e madeira, revestidas com PET, também avaliar se é possível aplicar o produto tornando a ideia viável. Utilizando como exemplo a terça de madeira num sistema de cobertura.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apontar quais os benefícios do uso do bambu como material alternativo na construção civil;
- Analisar as propriedades físicas, densidade, e mecânicas, flexão, do composto bambu *Bambusa tuldoides*, madeira *Pinus Elliottii*, com revestimento em PET, através de análises experimentais;
- Estudar a possibilidade de substituir terças convencionais por terças de bambu/madeira/PET.

1.3 JUSTIFICATIVA

O crescimento elevado do mercado da construção civil tem gerado preocupações ambientais e econômicas. A retirada desordenada de matérias primas tem levado muitas fontes naturais à escassez e, conseqüentemente, agregado maior custo aos métodos tradicionais de construção (MOTTA, *et al.*, 2014).

Segundo a ISO 15392: (2008) “o desafio do desenvolvimento sustentável é global, as estratégias para abordar a sustentabilidade na construção civil são essencialmente locais e diferem em contexto e conteúdo de região para região”. Durante muito tempo no Brasil, a escassez de matérias primas não foi motivo de preocupação devido à abundância e diversidade encontradas, porém, com a mudança

de comportamentos climáticos e ambientais, a população começou a utilizar os recursos de forma mais consciente.

Com essa preocupação, ano após ano, surgem novas técnicas construtivas que visam minimizar os impactos negativos da utilização de materiais causados pela construção civil. Tais técnicas têm por objeto garantir um sistema que forneça conforto, segurança e as demais necessidades básicas para a vivência dentro de um ambiente agradável e com menor impacto possível ao patrimônio natural.

É nesse contexto que o bambu é inserido como fonte alternativa de construção sustentável, comprovando a importância deste trabalho. Embora pouco difundido, esse material oferece um amplo potencial de utilização. O bambu é uma gramínea de rápido crescimento podendo atingir até 30 metros de 3 a 6 meses (JARAMILLO, 1992). O colmo de bambu é de fácil obtenção e altamente flexível, além de ser um material de baixo custo.

Possui vasta utilização no campo da construção civil e de modo eficiente nas diferentes etapas da obra, como na substituição de vigas de concreto armado, tesouras, preenchimento de paredes, utilização da fibra no melhoramento do comportamento do concreto, substituição da madeira em andaimes, portas e piso ou até mesmo com fins estéticos.

Uma possível aplicação do bambu é utilizá-lo como terças de um telhado. O uso desse material em apenas uma parte da estrutura visa introduzir o bambu como solução alternativa viável e renovável, na tentativa de quebrar os paradigmas contra a utilização de novos métodos construtivos.

A originalidade deste trabalho caracteriza-se pelo estudo do uso do bambu em sistemas de cobertura como terças e analisar sua resistência neste tipo de utilização. Para atender aos objetivos deste trabalho foram desenvolvidos protótipos em colmos de bambu da espécie *Bambusa Tuldoides*, com reforço de madeira *Pinus Elliotti* e revestidos com PET, os quais foram ensaiados a flexão estática, seus resultados verificados e comparados com modelos de madeira *Pinus Elliotti*.

2. REFENCIAL TEÓRICO

2.1 SUSTENTABILIDADE

A questão ambiental envolve todo o ciclo de vida de um material no meio ambiente, da extração da matéria-prima, transporte, aplicação final, desempenho, bem como a longevidade do material, capacidade de reutilização, reciclagem e decomposição (OLIVEIRA, 2006).

A construção de uma habitação sustentável deve atender as necessidades do usuário, como conforto e segurança, através de recursos renováveis que geram o mínimo de resíduos ou qualquer outra forma de poluição, atuando concomitantemente na questão financeira, na intenção de redução de valores finais da edificação (MEDEIROS; NARDI, 1999).

O uso do bambu é uma alternativa de baixo impacto ambiental.

2.2 A PLANTA BAMBU

A utilização do bambu data desde os anos 1200 a.C., em que já eram empregados na cultura oriental em papeis, transportes, alimentação, construção civil, medicina, fármacos e carvão. De acordo com Ostapiv e Fagundes (2007), alguns pesquisadores chineses estimaram que a área de abrangência mundial de plantações de bambu chega a 22 milhões de hectares, 1% da área total das florestas. Mas a perspectiva é que esta área aumente para 2 a 3% das florestas do planeta no século XXI.

Com 75 gêneros e mais de 1250 espécies, nos últimos anos o bambu tem ganhado grande importância na área da construção civil, devido suas propriedades físicas e mecânicas, bem como pela facilidade de formas construtivas que é possível obter com seu uso.

Segundo Caeiro (2010), com exceção da Europa, todos os continentes são povoados com espécies de bambu, como mostrado na Figura 1, destacados em cinza.

Porém, o clima da Ásia é mais propício às características ambientais do crescimento dessa planta, tendo 45 gêneros e 750 espécies diferentes.



Figura 1 - Países onde há incidência de bambu
Fonte: López,1981 (apud OSTAPIV, 2011)

O bambu é uma planta tropical e a espécie *Bambusa tuldoides* é uma das que tem as maiores ocorrências no Brasil. É uma espécie entouceirante, de alta produtividade, e porte médio (OSTAPIV, 2011).

2.2.1 A ESPÉCIE *Bambusa tuldoides*

Também conhecido como taquara, o bambu da espécie *Bambusa tuldoides*, é uma gramínea com fácil adaptação a climas tropicais, com elevada produção de biomassa e adequado para a construção civil. Encontrados facilmente no Brasil, os usos mais comuns dessa espécie são a construção de cercas, estufas, móveis, artesanatos, etc. (OSTAPIV; KNEBEL; OSTAPIV, 2015).

Espécie entouceirante e não alastrante, a altura dos colmos pode chegar a 12 m com diâmetro de 6 cm. Originário da China, seu colmo é reto e de cor escura como é mostrado na Figura 2 e resiste bem a geadas. A idade da touceira permite identificar as suas características ao longo do envelhecimento. Os colmos mais novos

apresentam coloração verde escuro uniforme e brilhante, característica perdida ao longo dos anos, chegando aos 5 anos a um tom marrom. Entre 2 e 3 anos, iniciam-se marcas de fungos e líquens, que ficam mais evidentes nos colmos mais velhos (OSTAPIV; KNEBEL; OSTAPIV, 2015).

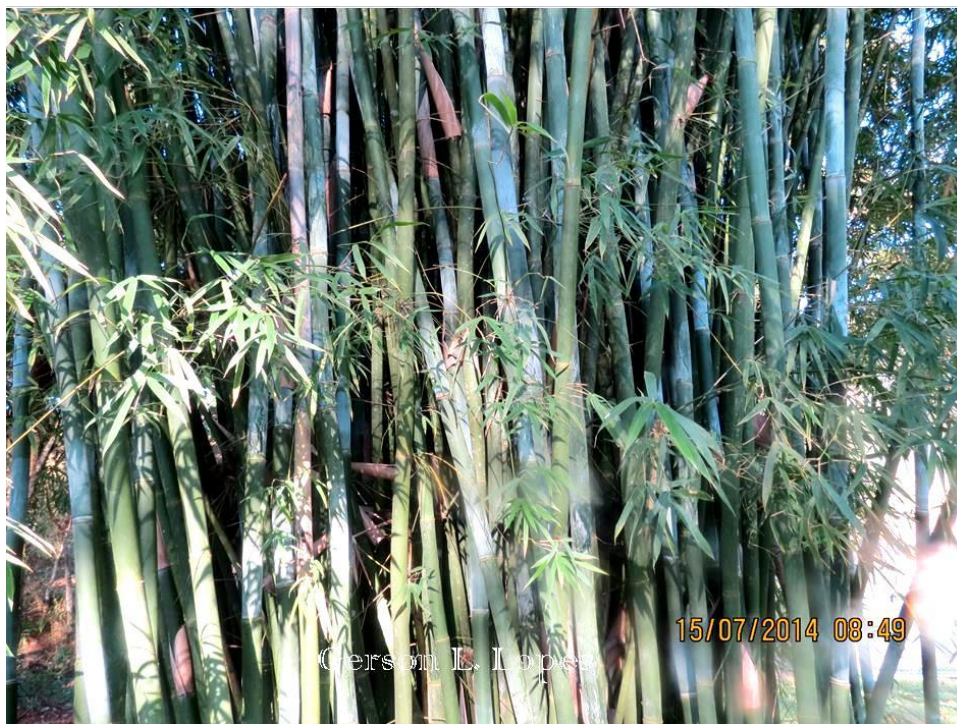


Figura 2 – Bambu da espécie *Bambusa tuldooides*
Fonte: Lópes (2015)

Ainda, de acordo com Ostapiv, Knebel e Ostapiv (2015), nas espécies entouceirantes, como mostra a Figura 3, os colmos mais externos da touceira são mais arqueados enquanto os internos, tendem a ser mais lineares, e mais adequados para a utilização na construção civil.

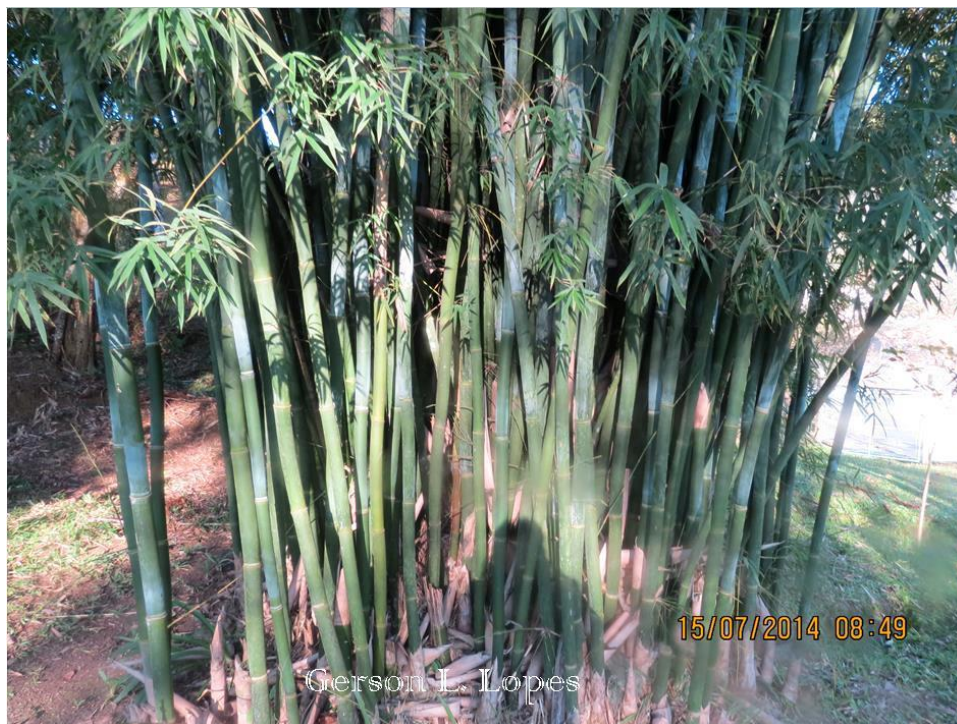


Figura 3 – Touceira de *Bambusa tuldooides*
Fonte: Lópes (2015)

2.2.2 FORMAS DE UTILIZAÇÃO DO BAMBU NA ENGENHARIA

A enorme variedade de espécies existentes permite a adequação do bambu à construção civil, quando aliado a grande resistência mecânica e baixa susceptibilidade às pragas que enfrentam o material (BARROS; SOUZA, 2004). O mesmo autor ainda cita as diferentes espécies facilmente encontradas no Brasil, relacionando suas características físicas com as possíveis aplicações, como exemplo o *Dendrocalamus giganteus*, com diâmetro entre 10 e 30 cm e altura entre 24 e 40 m, que pode ser empregado em fabricação de papel, tubos para condução de água e confecção de laminados.

Além disso, Junior (2000) cita o uso do bambu roliço, em sua forma original, ou em fibras, como chapas ou prensadas. Sendo as formas mais usuais: tiras, esterilhas, bambu partido, em chapas ou trançados.

Neto et al. (2009), apresentam a utilização do bambu como colunas, vigas, lastros, telhas e forro.

2.2.3 VANTAGENS DO USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O bambu é uma espécie vegetal que une beleza, utilidade e grande valor ecológico. Trata-se de material renovável, de alta produtividade, trabalhável, transportável, de fácil propagação e de rápido crescimento em países de clima tropical úmido (RAMOS, 2011).

Para Ramos (2011), dentre os materiais naturais, o bambu se mostra eficiente devido as suas características físicas, mecânicas e construtivas. As mesmas que permitem um leque de possibilidade para seu uso. Liese (1985), citada por Neto *et al.* (2009), publicou uma listagem de 1903, no Japão, de 1.048 artigos de uso prático utilizando o bambu. Barros e Souza (2004) afirmam que o bambu é capaz de substituir com vantagem elementos estruturais de madeira quando seus dimensionamentos estão condicionados a capacidade de o material resistir a esforços cisalhantes, bem como a possibilidade de substituição em peças submetidas à tração e ainda obter uma maior capacidade de carga.

Em muitos países, essa planta é vista também como fonte para o desenvolvimento econômico. Como exemplo disso, Vasconcellos (2015) informa que no Nepal e nas Filipinas são feitos projetos de reflorestamento de bambu, com finalidade de estimular a economia local através da produção de papel, comida e habitações. Outros países que se enquadram são China, Índia, Havaí, Colômbia e Equador.

Em termos de sustentabilidade o bambu apresenta vantagens em relação a outras plantas. Ele é altamente capaz de reduzir dióxido de carbono na atmosfera, sendo o maior consumidor de gás carbônico do reino vegetal (BARROS; SOUZA, 2004). Foram registrados em estudos que um bambuzal é capaz de capturar até 17 toneladas de dióxido de carbono por hectares ao ano (HIDALGO LOPES, 2003 apud RAMOS, 2011).

Segundo Peixoto (2008), os bambus possuem habilidade de renovar suas folhas rapidamente, o que permite manterem sua coloração verde e constante processo de fotossíntese, tal motivo de ser uma planta tão eficiente no resgate de CO₂.

Somado a isso, essa gramínea possui rápido crescimento. O tempo de estabelecimento de uma planta varia de cinco a sete anos, e o amadurecimento

acontece de três a quatro anos, muito mais rápido que a mais rápida árvore (NETO, *et al.*, 2009). A velocidade de propagação do bambu alia-se a facilidade de estabelecimento de uma plantação, no qual o bambu é capaz de se desenvolver em diferentes graus de arenosidade, acidez, umidade e temperatura. (BARROS; SOUZA, 2004)

2.2.4 DESVANTAGENS DO USO DO BAMBU NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Para Medeiros e Nardi (1999), as causas ecológicas se tornaram irmãs das causas sociais porque são interdependentes, e muitas civilizações fizeram destas relações a sua cultura. Tal pensamento, somado a abundância de recursos naturais no Brasil, justifica a inexistência de preocupação com a construção sustentável.

O uso do bambu na construção civil está limitado dentro desse contexto. A ausência de normas regulamentadoras para esse recurso faz com que as pesquisas se tornem fragmentadas e heterogêneas, visto que os ensaios realizados devem ter como base outras normas e adaptações destas, gerando assim diferentes interpretações na execução dos ensaios e grande variação de resultados.

Para Marçal (2008), a maior dificuldade do estudo das características mecânicas do bambu refere-se à sua forma geométrica, que nem sempre permite adotar diretamente as normas utilizadas nos ensaios de madeiras. Além de ter estrutura irregular que impede a obtenção de corpos-de-prova homogêneos, podendo provocar diferenças nos resultados dos ensaios.

2.2.5 CONTRUÇÕES EM BAMBU

A possibilidade de inovação que o bambu permite pode ser facilmente observada nas construções ao redor de todo o mundo; Como exemplo disso, o site CASA (2015) publicou uma reportagem repleta de monumentos em todo o mundo construídas em bambu, como a Catedral Alternativa *Nuestra Señora de La Pobreza*, de Simón Vélez, na Colômbia Figura 4.

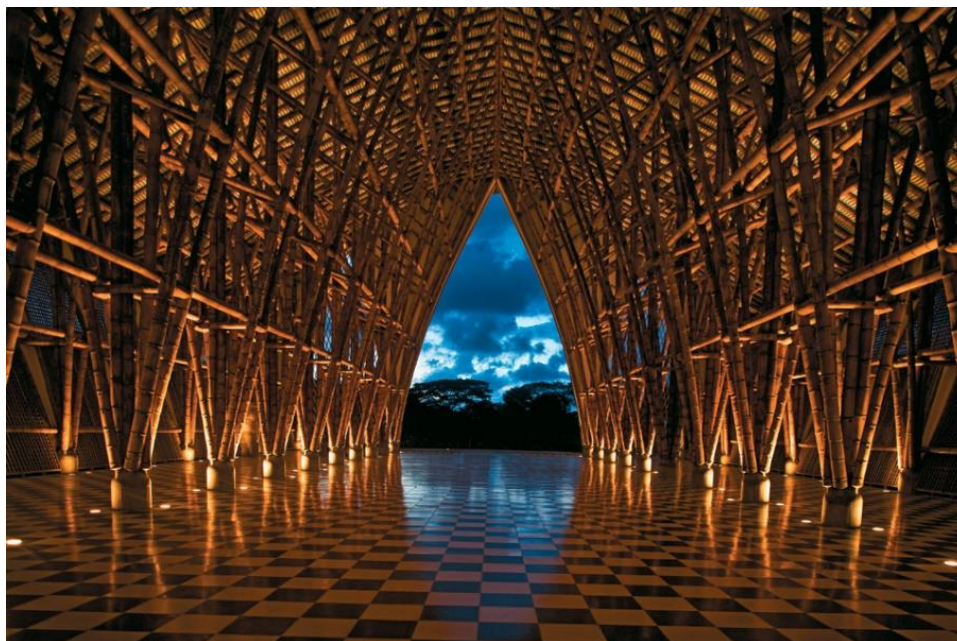


Figura 4 – Catedral Alterna *Nuestra Señora de La Pobreza*
Fonte: Arbolave; Fogueira (2015)

A catedral foi inteiramente construída em bambu, incluindo seus ornamentos. O conjunto cria um ambiente que induz a meditação e introspecção, ressaltando continuamente a importância da relação com a natureza, desde seus elementos construtivos até o direcionamento para a paisagem externa, na disposição do ambiente interno.

No que diz respeito à estética e funcionalidade, Planeta Sustentável (2015) referência o Estacionamento do Zoológico de *Leipzig*, na Alemanha. A arquitetura sinuosa utiliza-se da marcante característica de flexibilidade do bambu na proposta estética, que une, ao mesmo tempo, rusticidade e contemporaneidade Figura 5.



Figura 5 – Estacionamento do Zoológico de *Leipzig*
Fonte: Queiroz; Capello; Wenzel (2015)

Mais além, um exemplo de perfeita combinação entre as características estruturais e arquitetônicas, pode ser observado no palácio Taj Mahal. Esta construção histórica tem sua cúpula em forma de bulbo da flor de lótus, de grande simbologia na Índia. A sua estrutura original era construída em bambu, curvado com a tecnologia herdada da civilização Veda, como mostra a Figura 6 (PADOVAN, 2010).

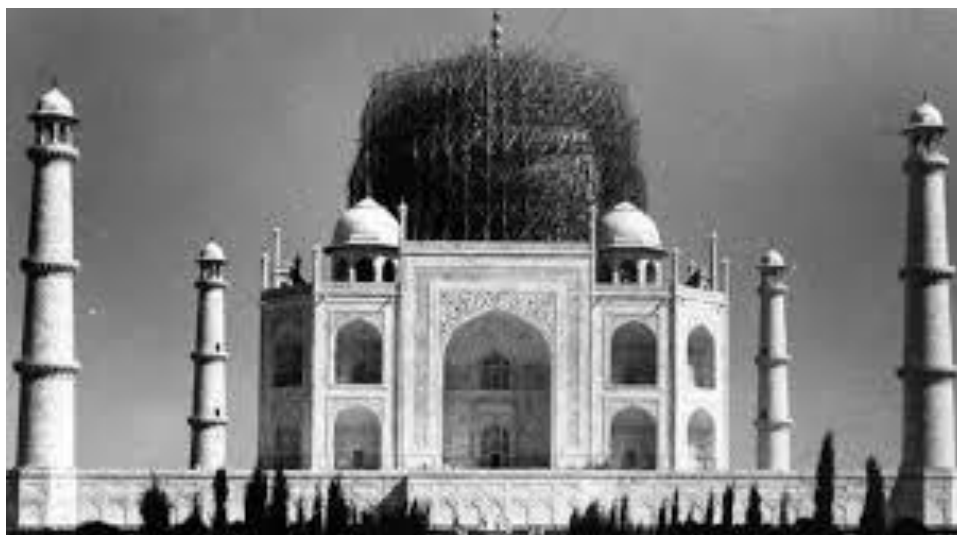


Figura 6 – Taj Mahal em bambu
Fonte: Vivimetalieu (2015)

3. A MADEIRA *Pinus elliottii*

Vinda da América do Norte, a madeira *Pinus Elliottii*, chegou ao Brasil meados dos anos 70. Essa espécie de madeira é de fácil adaptação ao clima tropical, desse modo é distribuída em diversos estados brasileiros, mas, principalmente, na região Sul e Sudeste (IPT, 2015).

Conhecida também como pinus ou pinheiro americano, não precisa de solo com muitos nutrientes para seu desenvolvimento, por isso, cresce de forma rápida – chegando a fase adulta a partir dos cinco anos – podendo chegar no máximo a 40 metros e um diâmetro de 60 a 90 cm (FILHO, 2012).

De acordo com o IPT (2015), a madeira *Pinus Elliottii* é de fácil trabalhabilidade, sendo fácil de desdobrar, furar, fixar, lixar e permite um bom acabamento, além de ser simples de secar. Na construção civil é bastante utilizada em ripas de sistemas de coberturas e em partes secundárias de estruturas, pois, comparada com outras madeiras, sua resistência mecânica é inferior. Também utilizada como rodapés, forros, lambris e guarnições, tem uso temporário em fôrmas para concreto, pontaletes e andaimes.

Na Tabela 1 são apresentadas algumas propriedades mecânicas dessa espécie.

Tabela 1 – Propriedades mecânicas da madeira da espécie *Pinus Elliottii*

	Flexão (MPa)	Compressão // as fibras (MPa)	Cisalhamento (MPa)	Tração normal as Fibras (MPa)
Madeira verde	48,0	18,5	5,8	3,0
Madeira a 15% de umidade	69,6	31,5	-	-
Módulo de elasticidade – Madeira verde	6463	8846	-	

Fonte: ADAPTADO DE IPT (2015)

3.1 SISTEMAS DE COBERTURA

Por ser a parte da edificação que protege os demais elementos construtivos da radiação solar, o sistema de cobertura causa influência diretamente no conforto térmico dos ambientes. De fundamental importância para qualquer tipo de construção, deve-se ter prudência – quando fizer o projeto – com a ação do vento, intensidade das chuvas e insolação, pois essas ações são as que exercem maior influência no traçado de cobertura (ABNT, 2013).

Segundo a NBR 15575:2013, as funções de um sistema de cobertura correspondem, desde a própria proteção do corpo da construção, até a preservação da saúde dos usuários. São utilizados para prevenir processos de degradação de materiais de construção, a proliferação de microrganismos patogênicos oriundos da infiltração de umidade causadas pelas intempéries, além de evitar corrosão, apodrecimento e fissuras.

Uma definição de cobertura é,

A parte superior da construção composta por telhas, estrutura para sustentabilidade das telhas, estrutura principal de apoio, estrutura responsável para manter a estabilidade do conjunto e, em alguns casos, sistema de captação de águas pluviais (PLETZ; MOLINA, 2010).

Ainda de acordo com Pletz e Molina (2010), a cobertura é o ápice da construção, podendo variar em formas, cores e textura.

Outro ponto que necessita de atenção especial é a configuração e caimento de uma cobertura. O projeto deve ser compatível com o material utilizado e, também, resistir a propagação de chamas, em caso de incêndio (CHING, 2010).

A cobertura tem o encargo de resistir ao próprio peso, equipamentos acoplados a ela e também a ação de ventos, chuvas, neve, etc., ademais, ser estruturada para vencer o vão a que foi projetada (CHING, 2010).

3.1.1 SISTEMA DE COBERTURA EM MADEIRA

Há relatos do uso de sistemas de cobertura em madeira desde os tempos Neolíticos, em que os egípcios já utilizavam estruturas treliçadas em madeira para sustentar as palafitas. Com o passar do tempo, as técnicas de construção foram

evoluindo e, dessa forma, vários tipos de sistema de cobertura em madeira foram sendo desenvolvidos (PINHEIRO, 1996).

Os tipos de sistemas de cobertura mais encontrados são: arco, sistemas treliçados e pórticos.

Os sistemas em arco de madeira são mais utilizados para vencer grandes vãos, em função disso, comparado com a treliça tem uma economia de material. Esses arcos podem ser apoiados apenas na direção do vão principal ou como arco espacial como mostra a Figura 7 (NETO, 2009).

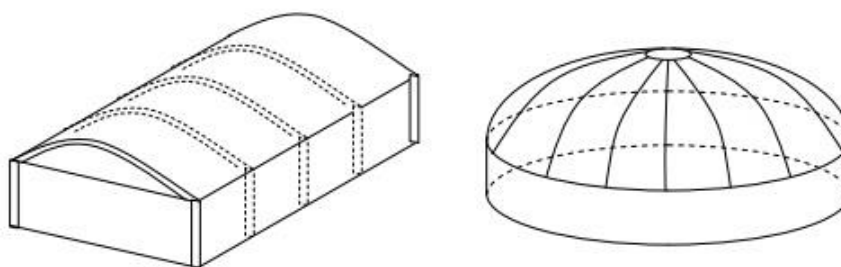


Figura 7 – Estrutura em Arco de Madeira
Fonte: Neto (2009)

Já os sistemas em pórticos de madeira são empregados quando for necessário o processo de pré-fabricação, podendo ser tri-articulado. É econômico para galpões, Figura 8. (NETO, 2009).

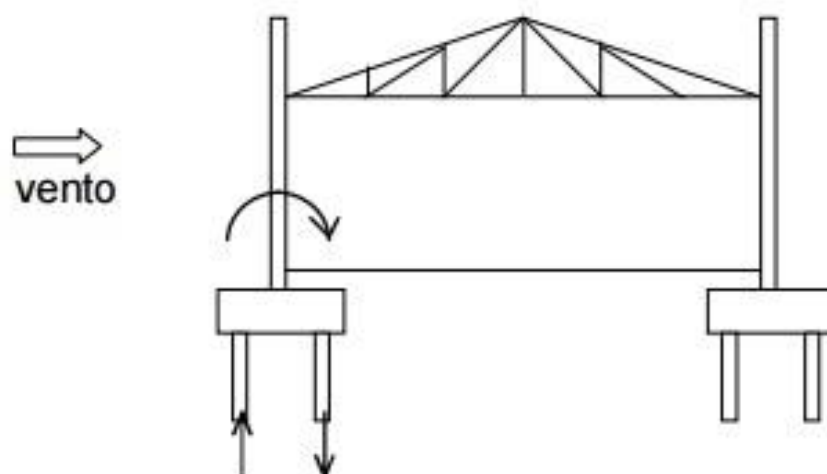


Figura 8 – Pórtico em madeira
Fonte: Neto (2009)

Porém, a mais comum é a estrutura em treliça, Figura 9, podendo ser utilizado os tipos HOWE, PRATT e BELGA. Os três tipos são treliças utilizadas em telhados de duas águas e a mais econômica em madeira, é o tipo HOWE. Em

metálicas, a tesoura tipo PRATT e a BELGA é escolhida em situações onde se necessitam passagens de dutos ou instalações centrais (NETO, 2009).

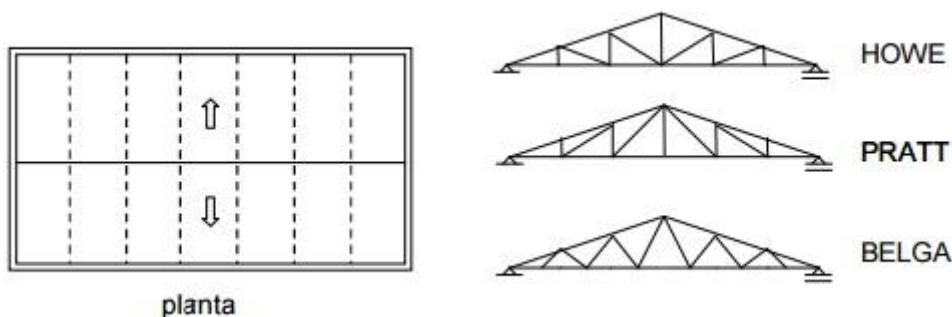


Figura 9 - Coberturas em Treliças
Fonte: Neto (2009)

Um sistema de cobertura em madeira pode ser subdividido em:

- Telhado: parte estética da cobertura, composto por vários tipos de telhas;
- Trama: sustentação do telhado;
- Estrutura vertical de sustentação da trama;
- Sistema de contraventamento: condiciona a estrutura para absorver os esforços horizontais, mantendo assim, o conjunto em equilíbrio e;
- Sistema de captação das águas pluviais: tem função de recolher e conduzir as águas para um local adequado de armazenamento (PLETZ; MOLINA, 2010).

Existem componentes que formam cada subdivisão supracitada. Cada elemento é responsável por diferentes esforços a que são submetidos.

O telhado é composto pelas telhas que devem ser escolhidas de acordo com a necessidade do projeto, garantindo a segurança da edificação quanto às ações de ventos, granizos, poeira, sol, resíduos e outras intempéries, além de assegurar a estanqueidade e o bom desempenho termo acústico do local (PLETZ; MOLINA, 2010).

Já a trama, possui mais elementos estruturais. Esses elementos são:

- Ripas: peças onde as telhas são apoiadas, transmitindo seus esforços para o caibro;
- Caibros: apoios das ripas, que transferem esforços para as terças;

- Terças: com a finalidade de travar as tesouras e suportar os esforços do caibro, estão localizadas entre o frechal e cumeeira;
- Frechal: primeira terça da tesoura (SALGADO, 2009).

O sistema de sustentação da trama é composto pelas tesouras que possuem os seguintes elementos:

- Tirante: elemento que suporta os esforços de tração da tesoura, sendo uma peça em diagonal destinada ao travamento;
- Pendural: Serve para distribuição de esforços num telhado, situado na vertical;
- Linha: alinhamento da tesoura. Recebe todos os esforços da tesoura, transmitindo para a estrutura principal da obra;
- Escora ou mão-francesa: útil para a distribuição de carga do telhado, é uma peça oblíqua;
- Perna: dando inclinação da tesoura, a perna é o elemento que suporta as terças (SALGADO, 2009).

De acordo com Pletz e Molina (2010), um sistema de cobertura deve ser estável para suportar todos os esforços horizontais. E para que isso aconteça é necessário utilizar contraventamento, que são elementos que tornam a estrutura mais sólida, através de adição de mãos-francesas ou então tornando a trama um elemento fixo, utilizando barras nas direções diagonais da trama.

Além desses elementos, existe a cumeeira que é o ponto mais alto do telhado, utilizado também para fixar os caibros.

Todos esses elementos estão representados na Figura 10.

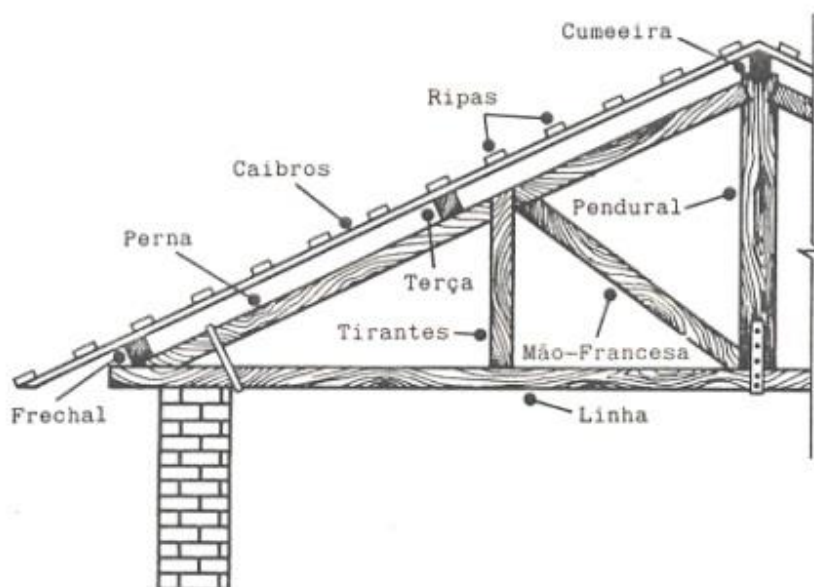


Figura 10 – Partes de um telhado
Fonte: Bastos (2011)

3.1.1.1 TERÇAS EM MADEIRA

As terças em um sistema de cobertura resistem aos esforços de flexão oblíqua. Podem ser apoiadas em paredes ou sobre a estrutura principal dela.

Quando se trata da ação do vento, esse elemento pode ser locado num telhado de duas formas. A primeira quando servem de apoio direto para as telhas e a segunda quando servem de apoio ao caibramento (PLETZ; MOLINA, 2010).

Na ocasião de apoio direto de telhas, o terçamento é quem resiste aos esforços causados pelo vento. As telhas são fixadas através de métodos de ancoragem, sendo eles ganchos, parafusos, entre outros. Esse tipo de terçamento é utilizado em telhas metálicas, de fibrocimento e plásticas (PLETZ; MOLINA, 2010).

Já quando servem de apoio ao caibramento, ainda de acordo com Pletz e Molina (2010), geralmente quem resiste aos esforços causados pelo vento é o caibramento, mas, às vezes, pode transferir um pouco de esforço para as terças. Nesse caso, as ripas são os elementos que recebem as telhas (telhas cerâmicas e de concreto).

Ainda se tratando de terças, um ponto que exige grande atenção, quando efetuado o projeto, são os vãos. O mais indicado é que esse espaço livre seja menor,

aumentando a quantidade de tesouras e diminuindo os esforços transferidos às terças. Mas quando isso não for possível, pode-se aumentar o vão das terças, causando maiores esforços nesses elementos.

É possível, também, emendar as terças – quando há necessidade de suprir grandes vãos. Segundo Pletz e Molina (2010),

As emendas de terças devem ser feitas com talas pregadas, nas seções de momento fletor, com chanfros a 45° acompanhando o digrama de momentos fletores. As terças devem possuir apoios nas duas direções em que ocorrem suas solicitações principais.

Essa emenda está representada na Figura 11.

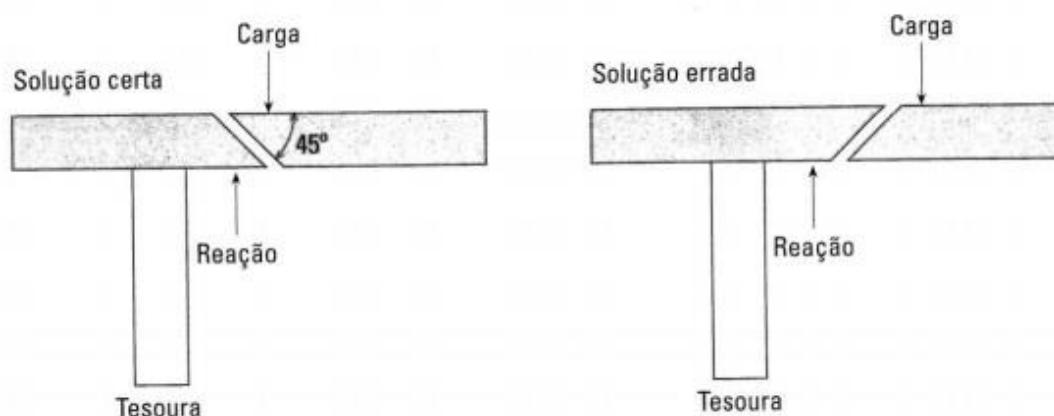


Figura 11 – Emenda de terças
 Fonte: Borges, 2009 apud (FLACH, 2012).

3.2 UTILIZAÇÃO DE BAMBU EM TELHADOS

Historicamente, a aplicação do bambu em estruturas de cobertura foi iniciada, entre os japoneses, em formas cônicas apoiadas em troncos de madeira, que evoluíram para a forma conhecida atualmente de suas construções tradicionais, como mostra a Figura 12 (PADOVAN, 2010).

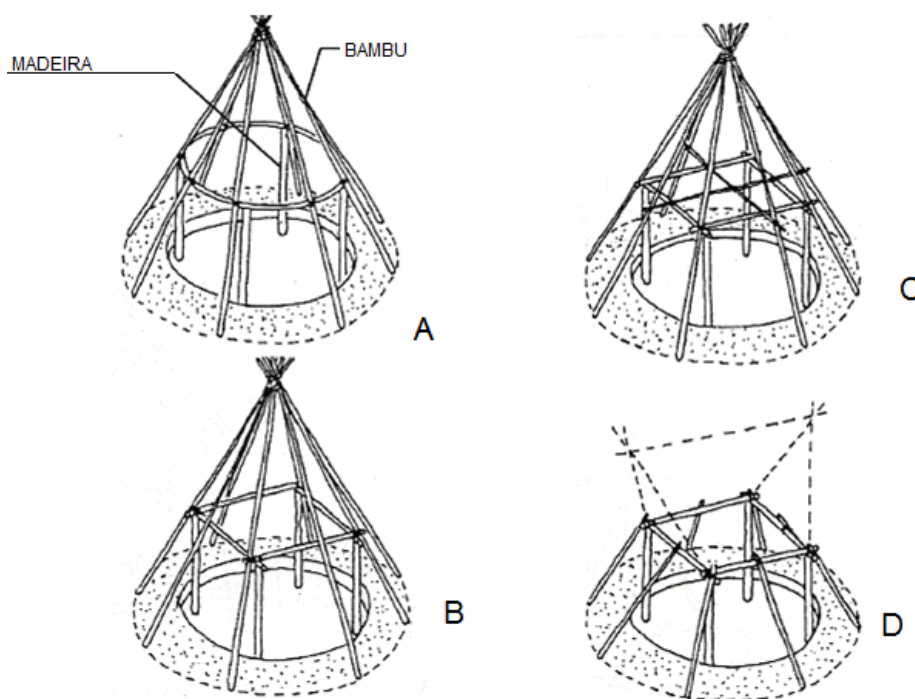


Figura 12 – Evolução das estruturas de cobertura japonesas com bambu
Fonte: Hidalgo-López, 2003 apud (PADOVAN, 2010)

A Índia foi um dos primeiros países a elaborar modelos arquitetônicos em formas de arcos e abóbodas em diferentes formas. A Figura 12 mostra a cúpula do Taj Mahal, um dos grandes monumentos do país (HIDALGO LOPEZ, 1978 apud RIVERO; MORETON; GOMER, 2010).

Mais além, Padovan (2010) relata a utilização de tramas de tecidos de bambu sobre estruturas de colmos em duas camadas sobrepostas, que se desenvolvem desde a cobertura até as laterais, formando paredes em comunidades tribais da África, no método chamado de *Chenca* ou *Sidamo*. Na qual o trançado é extremamente estreito e torna a cobertura impermeável, necessitando de nenhum tipo de vedação extra para garantia de estanqueidade.

A fim de exemplificar o emprego do bambu no sistema de cobertura, Souza (2002) escreveu um artigo no qual o tema proposto é a utilização do bambu na habitação de interesse social. Dentre as considerações feitas aos componentes do sistema, estão:

A montagem das telhas deverá ser feita utilizando os bambus cortados ao meio no sentido longitudinal. Posteriormente dispostos de forma alternada, com uma

cavidade voltada para cima e outra para baixo, como pode ser analisado na Figura 13. Nesse processo o autor ressalta a importância da aplicação de produtos impermeabilizantes.



Figura 13 – Telhado de Bambu
Fonte: Vasconcellos (2015)

As treliças espaciais de bambu são adequadas a coberturas de galpões e pontes e se caracterizam por vencer grandes vãos. Nesse tipo de sistema os encaixes são importantíssimos. Os bambus usados devem ter parede em torno de 4mm, diâmetro externo com mais ou menos 35mm e menor espaçamento entre os nós, para facilitar a execução das ligações.

Nos forros, utilizam-se painéis pré-fabricados de tecidos de bambu, que podem ser estruturados com régua de madeira ou metal e fixados com fios de arame de aço. Como proteção e melhores efeitos estéticos, recebem camadas de verniz impermeabilizante.

Souza (2002) afirma que o telhado pode ser executado em bambu seguindo o mesmo princípio da estrutura convencional. Para a autora, as construções tradicionais com bambu possuem vários exemplos de edificações que serviram de base e inspirações para o desenvolvimento tecnológico de construções contemporâneas, utilizando o bambu como material de construção.

Contudo, o aeroporto de Barajas, Madri, Espanha, Figura 14, citado por Yu (2007), exemplifica a potencialidade do bambu na criação de formas geométricas, que atendam concomitantemente o quesito estrutural e arquitetônico.



Figura 14 - Aeroporto de Barajas, Madri, Espanha
Fonte: Corbo (2015)

4. PET – POLIETILETO TEREFTALATO

O polietileno tereftalato, é um polímero semicristalino e termoplástico – conformado termicamente, possibilitando a reciclagem do material várias vezes. Ele chegou no Brasil em 1988. Por suas propriedades de estabilidade química e baixa permeabilidade aos gases, é altamente utilizado como embalagens de bebidas, como água e refrigerantes. Além de ser leve e apresentar alta resistência ao impacto, apresenta alta resistência mecânica (OSTAPIV; FAGUNDES, 2007).

De acordo com Ostapiv, Knebel e Ostapiv (2015),

Por ser um material quimicamente muito estável, as embalagens PET descartadas de forma irresponsável no meio ambiente praticamente não se degradam. O tempo de degradação natural varia de 400 a 800 anos. Se as embalagens estiverem tampadas, elas não se compactam criando diversos problemas nos aterros sanitários e nos solos, especialmente nas encostas de morros. Se as embalagens estiverem abertas, podem reter água e virar criadouros de mosquitos vetores de doenças, causando sérios problemas de saúde pública.

4.1 O USO COMBINADO DE BAMBU/PET NA ENGENHARIA CIVIL

A união de PET com o bambu é uma forma renovável de proteger o bambu e reutilizar um material reciclável. O revestimento do bambu pelo PET acolhe o bambu numa barreira, com propriedades de resistência mecânica e que reduz o ataque de insetos aos colmos. Essa proteção libera o bambu de tratamentos químicos, que torna o método agressivo ao meio ambiente (OSTAPIV; KNEBEL; OSTAPIV, 2015).

5. METODOLOGIA

A metodologia descreve o processo para determinação das propriedades físicas e mecânicas, do composto de bambu da espécie *Bambusa tuldoides* e madeira *Pinus Elliottii*, com revestimento de garrafas PET. Os ensaios que foram realizados são:

- Densidade básica e aparente;
- Flexão.

Para todos os ensaios, foram listados os materiais utilizados e a preparação do material com revestimento em PET. Além disso, na metodologia são descritas todas as adaptações necessárias para a viabilização dos ensaios com o composto, diante da inexistência de norma brasileira para esse material. Finalmente, é descrito como procederam a avaliação das propriedades desejadas para a conclusão deste trabalho.

5.1 MATERIAIS

Para confeccionar as amostras necessárias visando realizar os ensaios citados anteriormente, foram utilizados os seguintes materiais:

- Varas e colmos de Bambu da espécie *Bambusa tuldoides*, cortadas na base de uma touceira, com 30 anos de idade. Os colmos utilizados foram retirados de 3 áreas quadradas de 1m². No entanto, foi possível notar que a idade varia entre colmos mais jovens, com menos de 1 ano, bem como os mais maduros, de 1 a 2 anos, de 2 a 5 anos e acima de 5 anos de idade;
- Madeira *Pinus Elliottii*, foram compradas direto de uma madeireira, com umidade de 15%, utilizada para apoio dos bambus na formação de material composto e também para fabricação de peças maciças a serem ensaiadas e comparadas;
- Garrafas de refrigerante, com volume de 2,5 litros, confeccionados com o material PET. Elas foram utilizadas para revestir e moldar os

colmos e a madeira na seção desejada, elas tiveram suas extremidades cortadas para proporcionar melhor conformidade e maior facilidade no encaixe dos corpos-de-prova.

A touceira na qual foram extraídos os bambus utilizados no presente trabalho tinha um perímetro significativo de 17,2 m e área total estimada de 23,5 m². Os colmos que apresentaram um comprimento total de 12,3 m, os diâmetros da base mediram 5,1 cm, e os de comprimento de 9,0 m mediram 2,2 cm.

5.2 PREPARO DOS CORPOS DE PROVA

Devido a inexistência de normas brasileiras que regulamentem os ensaios para a utilização do bambu, foram feitas adaptações de outras normas, a fim de garantir que todos os ensaios tenham o efeito esperado.

Utilizados nos ensaios de densidade básica e aparente e nos de flexão os PET's arrecadados tiveram suas extremidades cortadas, além de passarem por um processo de limpeza, a fim de retirar os resíduos neles presentes. Para reduzir o volume de armazenamento, os PET's foram dobrados e guardados dentro de outro, como na Figura 15.



Figura 15 – Forma prática de armazenar os PET's
Fonte: Autor (2015)

Em todos os ensaios, foi utilizado o composto de bambu e madeira, revestidos com PET. Esse composto foi confeccionado com dois colmos de bambu *Bambusa tuldoides* de diâmetro de 5,0 cm, apoiados em uma seção de madeira *Pinus Elliottii* de dimensões 10,0 cm x 1,25 cm (largura x espessura). Para isso os colmos foram selecionados previamente pela sua geometria. Visando obter uma regularização da seção, os colmos de bambu foram dispostos sob a madeira alternando base e topo.

Posterior à seleção de garrafas PET, foi feito o encaixe entre o bambu e a madeira. A fixação do composto é dada pela termoformagem e contração do polímero quando submetido ao soprador de ar quente industrial. O esquema referido está representado na Figura 16.



Figura 16 – Colmos de bambu dispostos inversamente
Fonte: Autor (2015)

Para cada 1,0 metro de terça, foram necessários sete garrafas PET's. Além disso, foram ensaiadas peças de madeira com seção semelhante as medidas encontradas nas terças confeccionadas do material composto.

5.2.1 Corpo De Prova Para Caracterização Física

5.2.1.1 Corpo de prova para ensaio de densidade

O ensaio de densidade teve como parâmetro o anexo B da NBR 7190:1997. Na referida norma, de acordo com o item B.2, é especificado o tamanho dos corpos de prova de seção retangular de 2,0 cm x 3,0 cm de lado e comprimento de 5,0 cm. Porém, como o material composto tem maior dimensão, será realizado o ensaio com uma seção retangular de 6,25 cm x 10,0 cm e comprimento de 20,0 cm. Além disso, a norma define que os corpos de prova devem ser isentos de defeitos e as amostras devem ser retiradas de regiões afastadas das extremidades das peças de pelo menos cinco vezes a menor dimensão da seção transversal da peça considerada, mas nunca inferior a 30,0 cm. Dessa forma, as amostras foram retiradas numa distância mínima de 30,0 cm da base ou do topo. Para isso, foram selecionados 12 corpos de prova do material composto e mais 12 corpos de prova de madeira.

5.2.2 Corpo De Prova Para Caracterização Mecânica

5.2.2.1 Corpo de prova para ensaio de flexão

Para o ensaio de flexão, foi tomado como base a NBR 7190:1997 – Projeto de Estruturas de Madeira. Foram confeccionados 12 corpos de prova do material composto e, também, corpos de prova de madeira apenas de seção 6,25 cm x 10,0 cm e com comprimento de 115,0 cm.

Conforme a NBR 7190:1997, para o ensaio de flexão simples os apoios devem ser espaçados 21 vezes a altura da peça. Além disso, faz-se necessário uma sobra de corpo de prova para a boa acomodação nos apoios do pórtico, adotados em 10 cm de cada lado. Para os ensaios de flexão simples dos corpos de prova de madeira e os compostos de madeira, bambu e PET, foi preciso diminuir os corpos de prova, pois como os corpos ficariam com o comprimento total de 230 cm, e não haveria bambu suficiente para realização dos ensaios. Em decorrência disso, foi admitido o comprimento como metade do que deveria ser, adotando 115 cm. Não

houve redução da dimensão (altura x largura) dos corpos de prova, pois os bambus disponíveis tinham diâmetro médio de 5 cm.

O método utilizado neste ensaio foi de fácil e rápida execução, o processo de montagem dos corpos de prova é basicamente simples, a única dificuldade encontrada foi a obtenção das garrafas PET de 3 litros, que inicialmente seriam utilizadas nos corpos de prova de seção composta por uma madeira de 2,5x10x115cm, e 2 bambus com o comprimento adotado. O objetivo era comparar a resistência com diferentes espessuras da madeira.

Portanto, no ensaio de resistência à flexão, adotou-se somente o comparativo entre os corpos de prova de madeira, com os corpos de prova de madeira, bambu e PET, ambas com seção única de 6,25x10x115cm. Assim, foram utilizados PET de 2,5 litros, recolhidas por meio de doações.

5.3 ENSAIOS

5.3.1 Caracterização Física: Densidade Básica

Para o ensaio de densidade básica, foi utilizada como base a NBR 7190:1997 – Projeto de Estruturas de Madeira. Os equipamentos que foram utilizados nessa etapa das análises são:

- Balança com exatidão de 0,01 g;
- Paquímetro;
- Tanque com água para imersão dos corpos;
- Estufa 105°C.

Para determinar a densidade básica, inicialmente foram colocados os corpos de prova numa estufa na temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Durante a secagem, as massas dos corpos de prova devem ser medidas a cada 6h, até que ocorram duas medidas consecutivas com discordância de no máximo 0,5%, essa será a massa seca da amostra.

Após esse procedimento, as amostras foram colocadas imersas em um tanque com água até que atinjam massa constante, com erro de 0,5%. Com isso se

obtem a massa úmida, e medindo as dimensões do corpo de prova saturada tem-se o volume saturado.

A densidade básica é calculada através da equação a seguir.

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}}$$

Em que:

ρ_{bas} – densidade básica (kg/cm³);

m_s – massa do corpo de prova seca em estufa (kg);

V_{sat} – volume saturado do corpo de prova (m³).

5.3.2 Caracterização Mecânica: Flexão Simples

Nesse ensaio os equipamentos que foram utilizados são:

- Trena;
- Pórtico que realiza aplicação de cargas;
- Equipamento para aquisição de dados;
- Célula de carga de 50KN.

Segundo a NBR 7190:1997, para determinação da resistência convencional a flexão, os corpos devem ser medidos com precisão de 0,1 mm.

O ensaio deve ser de quatro pontos e todos devem ser apoios fixos. O carregamento aplicado foi em dois pontos espaçados igualmente, com crescimento constante de 10 MPa/min.

Como o objetivo principal não é medir a flecha da deformação, as medidas dos deslocamentos transversais foram feitas através de uma trena.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 ENSAIO DE FLEXÃO SIMPLES

O ensaio de flexão simples ocorreu da mesma forma que foi descrito no item 5.3.2. Porém, foi necessária uma adaptação para os corpos de prova de madeira, bambu e PET. Para que os corpos de prova não torcessem e rompessem de forma não desejada, foi preciso uma mão-francesa em madeira que apoiasse os corpos de prova sem interferir na aplicação da carga pelo pórtico.

Os corpos de prova foram posicionados de forma que as cargas fossem aplicadas na maior inércia, ou seja, a menor dimensão da seção foi que recebeu os esforços.

A Figura 17 representa essas mãos francesas, que foram alocadas uma em cada apoio do pórtico para que evitar que o material saísse do seu eixo e rompesse de forma não desejada. A Figura 18 apresenta um dos ensaios dos corpos de prova de madeira que também foram realizados no pórtico e não precisavam adaptação pois sua forma facilitava os ensaios.

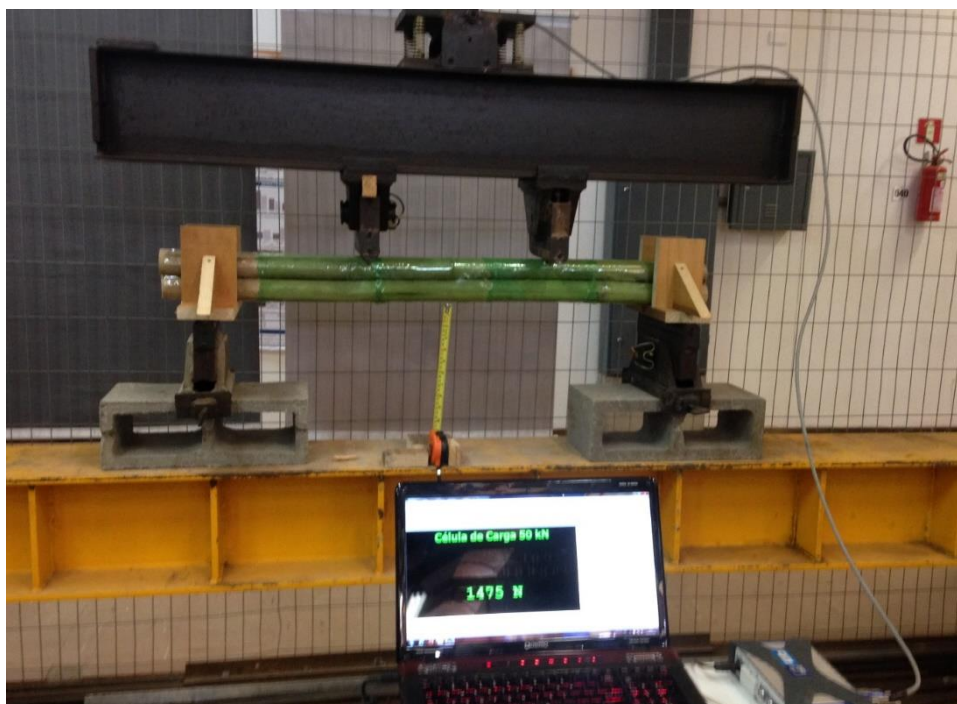


Figura 17 – Ensaio de flexão simples: corpos de prova de madeira, bambu e PET no pórtico
Fonte: Autor (2016)

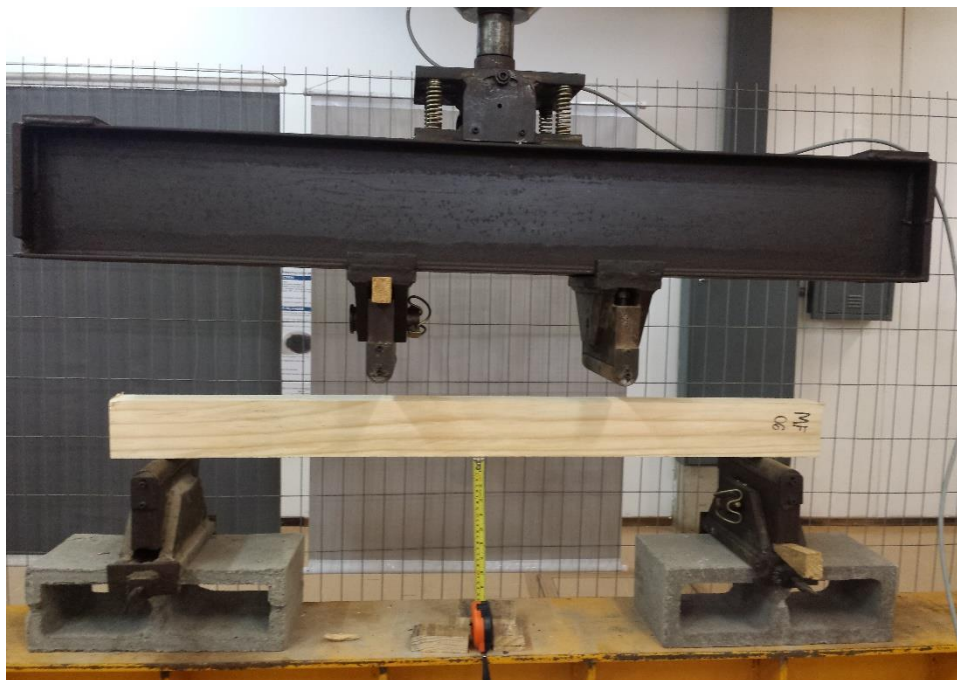


Figura 18 – Ensaio de flexão simples: corpos de prova de madeira no pórtico
Fonte: Autor (2016)

Por não ser o objetivo principal do estudo, a trena apenas foi inserida para uma análise informal da flecha desses corpos de prova, medindo uma média de 2 cm de flecha até a carga máxima, salvo exceções em que a madeira rompeu, chegando a 5 cm, como observado na Figura 19.



Figura 19 - Flecha aproximada em 5 cm
Fonte: Autor (2016)

Para chegar às dimensões desejadas, foi necessário encomendar madeiras previamente plainadas, com espessura final de 1,25cm. Esse processo resultou numa pequena variação indesejada das dimensões da peça. Outro porém foram as dimensões dos colmos de bambu, em que as irregularidades provocaram diferenças na aplicação da carga, uma hora sendo aplicada diretamente no bambu, outrora na madeira ou ainda em ambos materiais. Isso foi um dos motivos que ocasionou divergência nos resultados de resistência à flexão.

Para o procedimento de rompimento de todos os corpos de prova, foi adotado o ensaio de 4 pontos, sendo estes: 2 apoios e 2 cargas aplicadas, com uma velocidade constante de 10 MPa/min. Esse método de análise permite maior seção linear submetida ao máximo momento da peça, e consecutivamente uma análise mais elaborada do rompimento, comparado ao ensaio de 3 pontos. A problemática do ensaio envolve a velocidade, visto que o controle manual não permite uma aplicação de carga com velocidade constante.

6.1.1 CORPOS DE PROVA COMPOSTO

Os resultados obtidos nos ensaios de flexão simples dos corpos de prova do material composto de madeira, bambu e PET estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do Ensaio de Flexão Simples dos Corpos de Prova de Madeira, Bambu e PET

CORPOS DE PROVA COMPOSTO DE MADEIRA, BAMBU E PET				
CORPO DE PROVA	ALTURA (mm)	LARGURA (mm)	COMPRIMENTO (mm)	CARGA MÁXIMA APLICADA (KN)
BF1	99.54	66.38	115.00	9.48
BF2	98.95	63.05	115.00	12.57
BF3	100.91	64.14	115.00	9.95
BF4	98.84	61.60	115.00	10.03
BF5	98.78	65.06	115.00	8.97
BF6	97.83	69.42	115.00	16.46
BF7	99.44	67.09	115.00	14.03
BF8	99.98	72.10	115.00	8.26
BF9	99.08	63.92	115.00	11.37
BF10	100.98	59.48	115.00	11.84
BF11	102.55	69.27	115.00	13.13
BF12	99.05	61.91	115.00	11.55
MÉDIA	99.66	65.29	115.00	11.47
DESVIO PADRÃO	1.22	3.54	0.00	2.25
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	1.20%	5.40%	0.00%	19.60%

Fonte: Autor (2016)

Observando a Tabela 2 é possível perceber que os corpos de prova de madeira, bambu e PET que mais tiveram resistência à flexão foram o BF2, BF6 e BF11. Esses compostos tiveram uma resistência acima da média. Já os corpos de prova BF5 e BF8 tiveram as menores resistências.

A Figura 20 e a Figura 21 mostram a situação onde o ponto de aplicação coincidiu em estar posicionado sob os nós, nesse e em outros casos semelhantes, não houve amassamentos no bambu, apenas na madeira. Nesses corpos, encontraram-se os maiores valores de resistência da peça, como o corpo de prova BF11, que resistiu a uma força de 13,13 KN, conforme a Tabela 2.



Figura 20 – Corpo de prova BF11: local de aplicação da carga – Carga máxima de 13,13 kN
Fonte: Autor (2016)



Figura 21 – Corpo de prova BF11: após aplicação de carga – Carga máxima aplicada de 13,13 kN
Fonte: Autor (2016)

Em outros corpos de prova, a principal influência foi a espessura das paredes dos bambus, em que os mais espessos foram mais resistentes ao esmagamento, Figura 22. Esse corpo de prova, BF6, teve a maior resistência

apresentada (16,46 kN), pois a parede do bambu foi que recebeu a carga era mais espessa, mesmo que o outro colmo seja mais fino e tenha rompido.

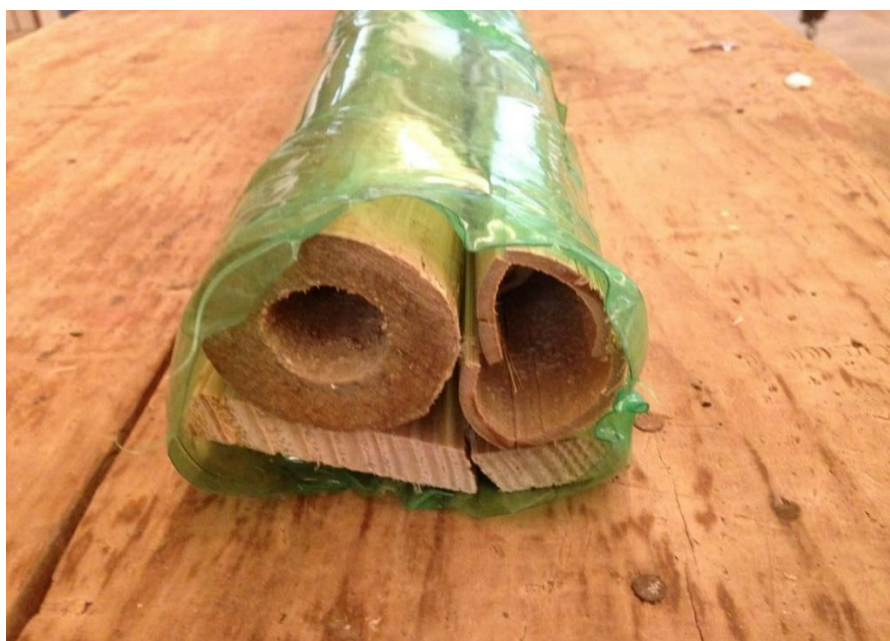


Figura 22 – Corpo de prova BF6: diferença de espessuras da parede do colmo – Carga máxima aplicada de 16,46 kN
Fonte: Autor (2016)

Porém, os colmos mais uniformes e com maiores espessuras, Figura 23, apresentaram um melhor comportamento, como o corpo de prova BF9, resistindo bem a aplicação da carga e não apresentando rompimento dos colmos.



Figura 23 – Corpo de prova BF9: colmos com espessuras uniformes – Carga máxima aplicada de 11,37 kN
Fonte: Autor (2016)

Também, outro ponto bastante significativo nas análises foi a presença de nós dos colmos de bambu próximos as extremidades, como o corpo de prova BF2

que teve uma carga de 12,57 kN aplicada, gerando assim maior resistência ao esmagamento nesses pontos, Figura 24.



Figura 24 – Corpo de prova BF2: Nós nos colmos de bambu próximos a extremidade – Carga máxima aplicada de 12,57 kN

Fonte: Autor (2016)

Um problema observado no rompimento, que relaciona à geometria dos corpos de prova de madeira, bambu e PET, foi o posicionamento da seção. Apesar do auxílio da mão-francesa, o corpo de prova não ficou posicionado corretamente em seu eixo, então, durante a aplicação das cargas acabou torcendo e quebrando a madeira ao meio, ao longo de toda sua extensão, como visto no corpo de prova BF4, que teve uma diminuição 12,55% de resistência à carga aplicada em relação a média de resistência dos corpos de prova, Figura 25 e Figura 26.



Figura 25 – Corpo de prova BF4: corpo de prova torcido – Carga máxima aplicada de 10,03 kN

Fonte: Autor (2016)



Figura 26 – Corpo de prova BF4: aplicação de carga no corpo de prova – Carga máxima aplicada de 10,03 kN

Fonte: Autor (2016)

Outro exemplo de corpo de prova que rompeu por torção na madeira, foi o BF8, que teve a menor resistência encontrada, 8,26 kN, Figura 27 e Figura 28.

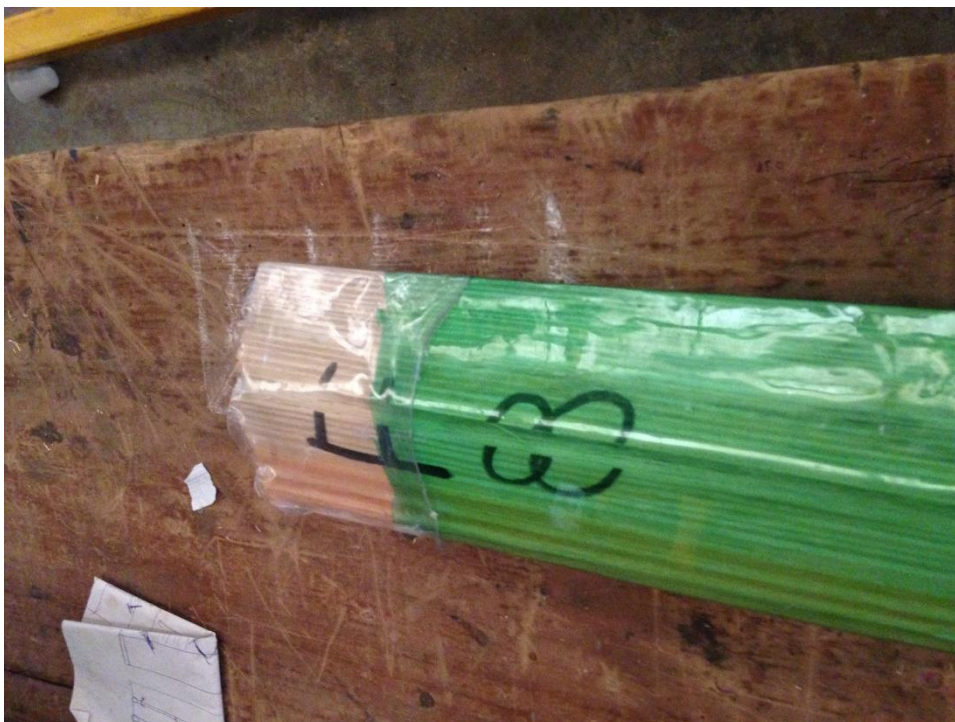
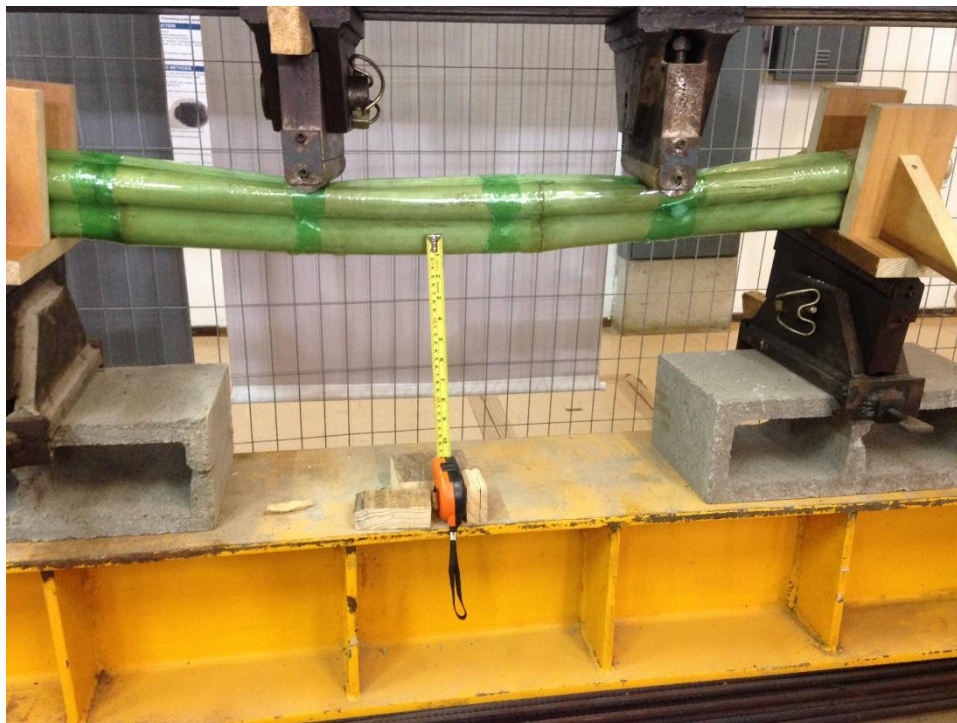


Figura 27 – Corpo de prova BF8: rompido por torção – Carga máxima aplicada de 8,26 kN
Fonte: Autor (2016)



Figura 28 – Corpo de Prova BF8: rompido por torção– Carga máxima aplicada de 8,26 kN
Fonte: Autor (2016)

Quando as cargas são aplicadas entre os nós, há uma menor resistência do colmo de bambu. Isso é exemplificado no corpo de prova BF5 que teve uma carga aplicada de 8,97 kN, Figura 29.



**Figura 29 – Corpo de prova BF5: aplicação de carga entre os nós– Carga máxima aplicada de 8,97 kN
Fonte: Autor (2016)**

Os resultados obtidos nos corpos de prova de material composto apresentaram maior discrepância de análise. A maioria dos corpos de prova rompeu por flexão na madeira, nas quais os colmos dos bambus hora resistiram sem qualquer deformação, outros corpos de prova tiveram esmagamento total da seção. Essa variação de resultado ocorreu devido ao posicionamento da peça no pórtico, bem como a espessura da parede dos colmos.

6.2.2 CORPOS DE PROVA DE MADEIRA MACIÇA

A madeira teve resultados oscilantes devido a presença de nós nos corpos de prova, esses resultados encontrados do ensaio de flexão simples dos corpos de prova de madeira *Pinus Elliottii* estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do Ensaio de Flexão Simples dos Corpos de Prova de Madeira Maciça

CORPOS DE PROVA COMPOSTO DE MADEIRA				
CORPO DE PROVA	ALTURA (mm)	LARGURA (mm)	COMPRIMENTO (mm)	CARGA MÁXIMA APLICADA (kN)
MF1	97.15	66.02	115.00	11.97
MF2	99.00	65.36	115.00	17.67
MF3	96.97	65.16	115.00	13.71
MF4	98.25	64.88	115.00	11.05
MF5	97.05	64.96	115.00	8.43
MF6	97.79	65.05	115.00	25.06
MF7	97.60	65.08	115.00	16.05
MF8	96.96	65.04	115.00	14.60
MF9	96.37	66.19	115.00	13.09
MF10	96.03	64.80	115.00	18.72
MF11	96.92	65.11	115.00	21.89
MF12	97.31	64.99	115.00	15.28
MÉDIA	97.28	65.22	115.00	15.63
DESVIO PADRÃO	0.77	0.42	0.00	4.47
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO	0.80%	0.60%	0.00%	28.6%

Fonte: Autor (2016)

Houve disparidade de valores nos corpos de prova de madeira em decorrência dos tamanhos de nós presentes nos corpos. Nota-se pela Tabela 3 que as maiores cargas aplicadas foram nos corpos de prova MF6, MF10 e MF11 e as menores foram nos corpos de prova MF1, MF4 E MF5.

De forma geral, nos ensaios de flexão da madeira maciça o rompimento ocorreu nos nós presentes na região de maior momento fletor da peça, que corresponde ao comprimento entre os pontos de aplicação das cargas, como exemplificado no corpo de prova MF5, Figura 30, Figura 31 e Figura 32.

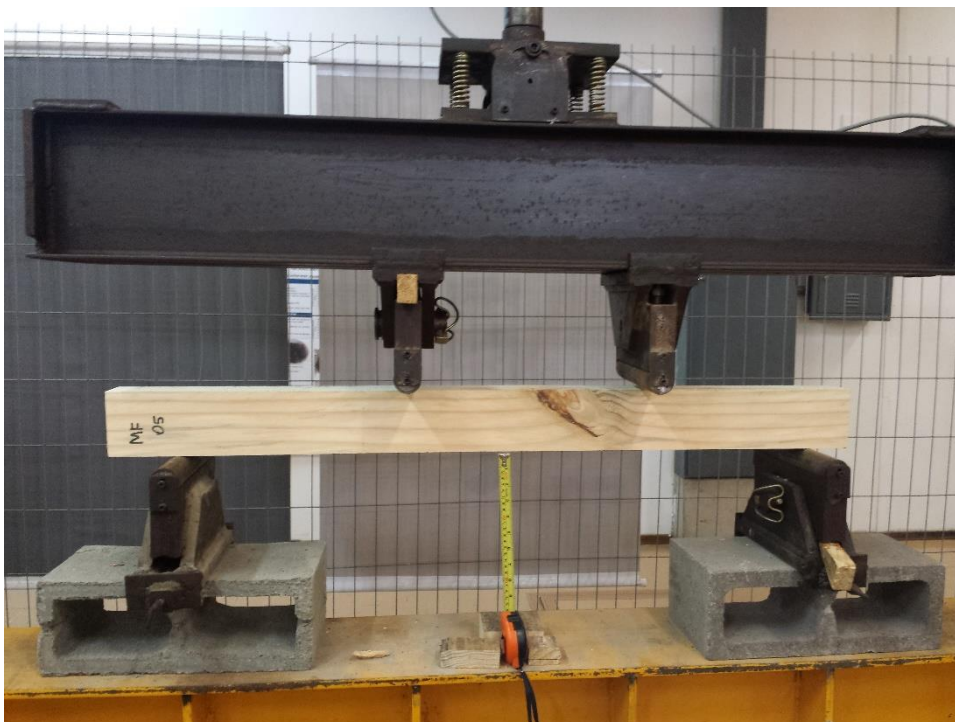


Figura 30 – Corpo de prova MF05: antes de ser ensaiado – Carga máxima aplicada de 8,43 kN

Fonte: Autor (2016)



Figura 31 - Corpo de prova MF05: depois de ser ensaiado – Carga máxima aplicada de 8,43 kN

Fonte: Autor (2016)



**Figura 32 – Corpo de prova MF05: nó presente – Carga máxima aplicada de 8,43 kN
Fonte: Autor (2016)**

Os ensaios de flexão da madeira em que havia a presença de nós nas seções apresentaram o rompimento na região dos mesmos. Essas imperfeições são ocasionadas devido o material fornecido pela madeireira derivar de áreas de reflorestamento, com uso destinado a construção, e não para fins de pesquisa. O corpo de prova MF4, rompeu perto do nó com uma das menores forças aplicadas, 11,05 KN, Figura 33.



Figura 33 – Corpo de prova MF4: Rompimento próximos aos nós – Carga máxima aplicada de 11,05 kN
Fonte: Autor (2016)

Isso também ocorreu no corpo de prova MF1, tendo baixa resistência. A carga suportada por esse corpo de prova foi de 11,97KN, Figura 34.



Figura 34 – Corpo de prova MF1: Rompimento próximos aos nós – Carga máxima aplicada de 11,97 kN
Fonte: Autor (2016)

O corpo de prova que mais resistiu a flexão, foi o MF6, com uma carga aplicada de 25,06 KN, não tinha nenhum nó presente no corpo de prova.

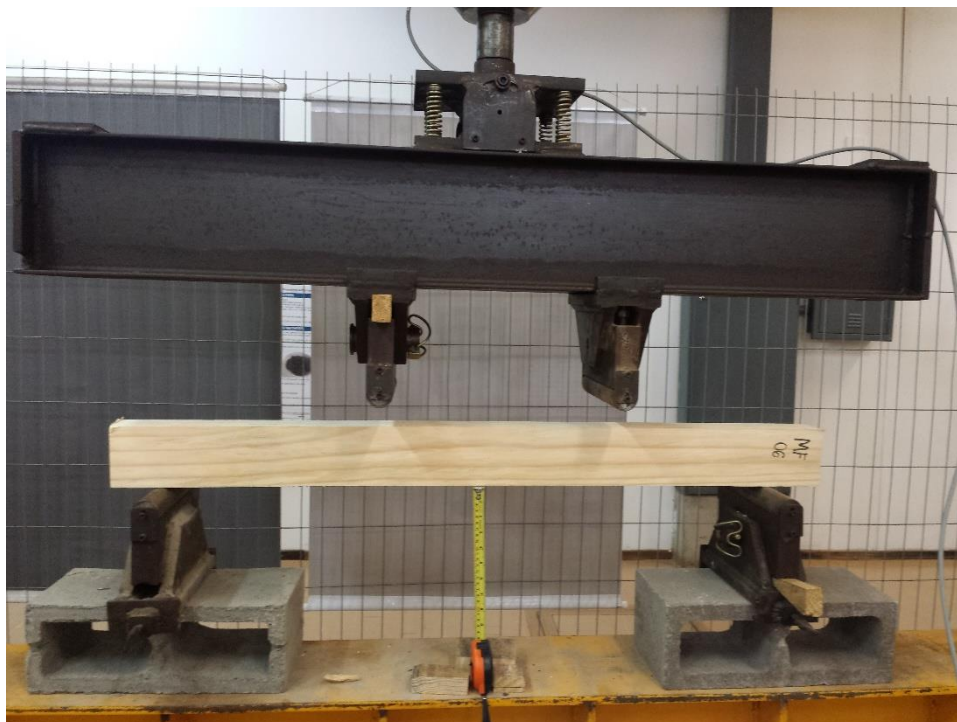


Figura 35 – Corpo de prova MF6: sem nós – Carga máxima aplicada de 25,06 kN
Fonte: Autor (2016)

Esse corpo de prova rompeu por flexão, como mostra a Figura 36.

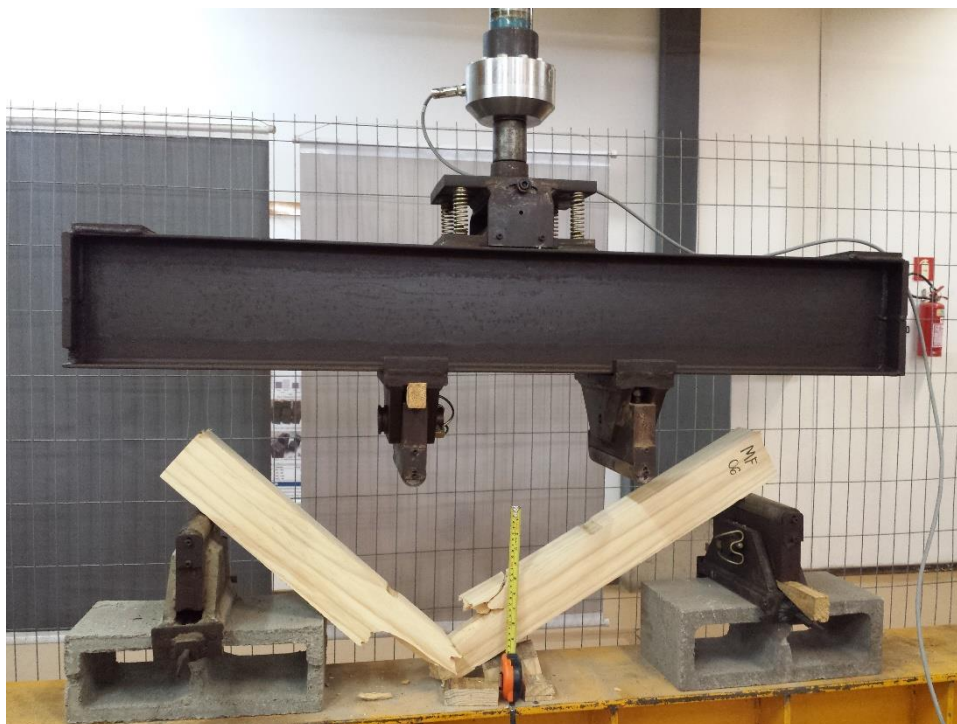


Figura 36 – Corpo de prova MF6: ruptura por flexão – Carga máxima aplicada de 25,06 kN
Fonte: Autor (2016)

Já os corpos de prova MF10 e MF11 tinham pequenos nós presentes, porém, resistiram a uma carga elevada de, respectivamente, 18,72 kN e 21,89 kN, Figura 37 e Figura 38.

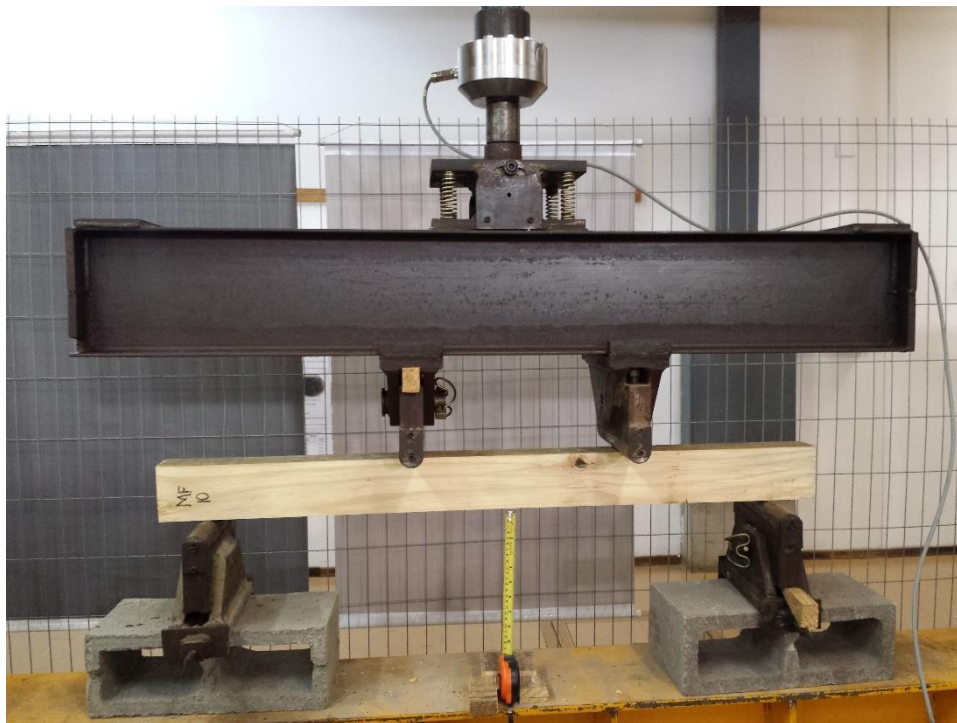


Figura 37 – Corpo de prova MF10: pequeno nó presente – Carga máxima aplicada de 18,72 kN
Fonte: Autor (2016)



Figura 38 – Corpo de prova MF11: pequeno nó presente – Carga máxima aplicada de 21,89 kN
Fonte: Autor (2016)

O corpo de prova MF10 rompeu no nó, Figura 39, e o corpo de prova MF11 rompeu por flexão longe do nó, Figura 39 e Figura 40.

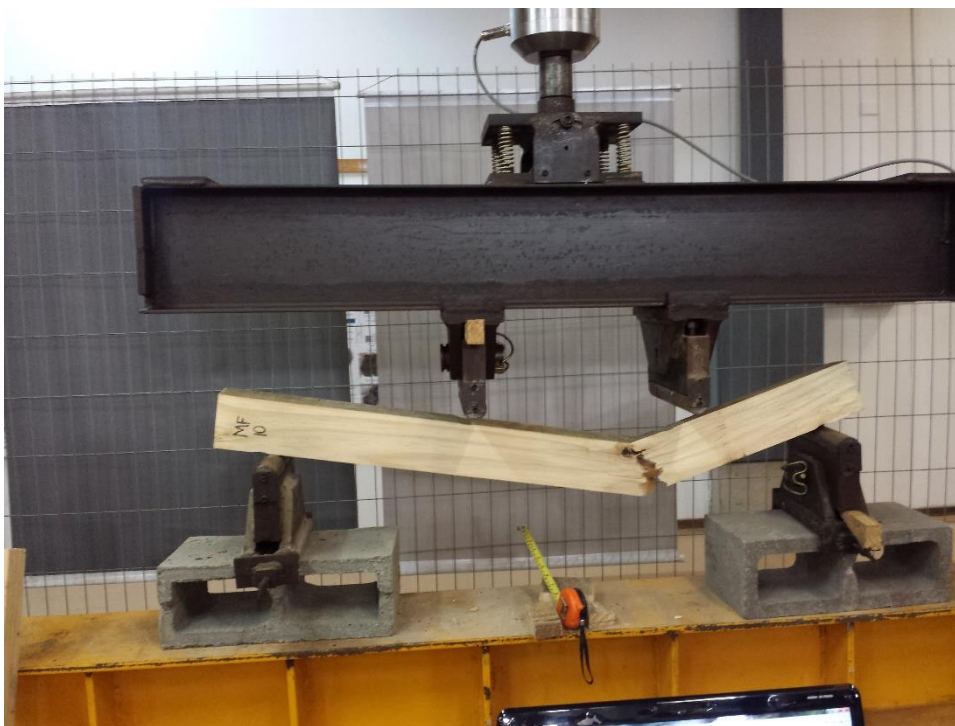


Figura 39 – Corpo de prova MF10: rompimento ocorreu no nó – Carga máxima aplicada de 18,72 kN
Fonte: Autor (2016)



Figura 40 – Corpo de prova MF11: rompimento por flexão – Carga máxima aplicada de 21,89 kN
Fonte: Autor (2016)

Em algumas peças ficou claro o rompimento por flexão, enquanto em outras se observa o rompimento por cisalhamento, como mostra o corpo de prova MF3, Figura 41. Esse rompimento por cisalhamento, segundo Brito (2016), pode ser justificado porque a força é aplicada perpendicularmente as fibras da madeira.

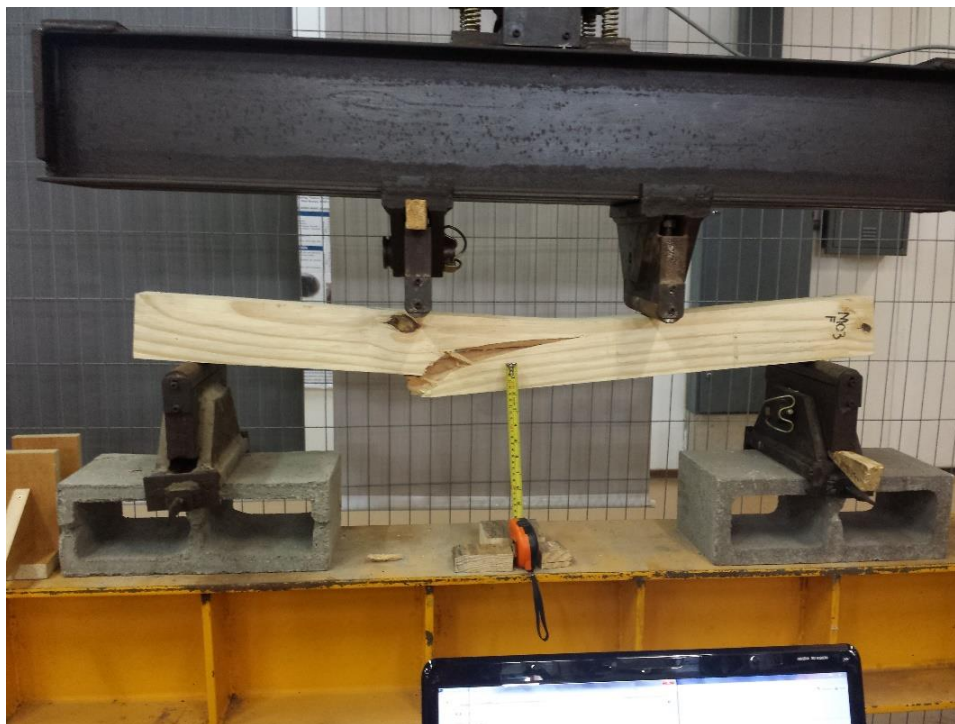


Figura 41 - Rompimento por cisalhamento – Carga máxima aplicada de 13,71 kN
Fonte: Autor (2016)

A Tabela 4 demonstra a diferença entre os valores máximos e mínimos de carga aplicada em cada tipo de corpo de prova, também, mostra a diferença de percentual desses valores.

Tabela 4 – Diferenças percentuais entre cargas aplicadas nos corpos de prova de madeira e de madeira, bambu e PET

VALORES	CP MADEIRA	CP MADEIRA, BAMBU E PET	DIFERENÇA (%)
MÁXIMO (KN)	25.05	16.46	34.29
MÍNIMO (KN)	8.43	8.26	2.02
MÉDIA (KN)	15.63	11.47	26.62

Fonte: Autor (2016)

Essa diferença de 26,62% da resistência à carga aplicada se deve a diferença de densidade que esses materiais têm.

6.2 ENSAIO DE DENSIDADE

Na primeira tentativa do ensaio de densidade básica, os corpos de prova do composto de bambu e madeira foram envolvidos por garrafa PET. Porém, como o PET não permite a expansão do corpo de prova, os bambus não tinham para onde inflar e, em decorrência disso, quebraram como observado na Figura 42, impossibilitando resultados significativos. Dessa forma, foi necessário adaptar o ensaio. Numa segunda tentativa o ensaio procedeu-se sem o PET e os corpos de prova ficaram apenas a madeira e o bambu, presos um ao outro por um barbante, conforme a Figura 43.



Figura 42 - Corpos de provas de madeira e bambu envolvidos com PET deformados após ensaio de densidade
Fonte: Autor (2016)



Figura 43 – Corpo de prova de bambu e madeira, envoltos por barbante
Fonte: Autor (2016)

Em contrapartida, o ensaio realizado com os corpos de prova de madeira de *Pinus Elliottii*, Figura 44, forneceu resultados logo na primeira análise.



Figura 44 – Corpos de Prova de madeira
Fonte: Autor (2016)

A

Tabela 5 apresenta os resultados encontrados para o ensaio de densidade básica do composto de bambu e madeira, que utiliza apenas a massa e o volume na umidade ambiente.

Tabela 5 – Resultados do Ensaio de Densidade Aparente dos Corpos de Prova de Bambu e Madeira

CORPOS DE PROVA DE MADEIRA E BAMBU - ENSAIO DENSIDADE APARENTE						
CORPOS DE PROVA DENSIDADE	ALTURA (cm)	LARGURA (cm)	COMPRIMENTO (cm)	VOLUME (cm³)	MASSA SECA(kg)	DENSIDADE APARENTE (kg/m³)
D1	98,83	64,04	199,48	1262,52	0,379	300,192
D2	96,46	67,38	202,11	1313,61		0,000
D3	96,84	195,55	67,13	1271,24	0,401	315,439
D4	101,56	199,01	64,94	1312,53	0,485	369,515
D5	106,01	199,04	66,04	1393,46	0,388	278,444
D6	103,83	199,04	63,86	1319,75	0,371	281,114
D7	96,76	198,99	64,00	1232,27	0,352	285,651
D8	97,80	201,21	61,74	1214,94	0,371	305,365
D9	98,87	202,13	63,81	1275,22	0,390	305,830
D10	102,11	197,47	65,90	1328,79	0,440	331,129
D11	97,33	198,20	63,20	1219,18	0,311	255,090
D12	98,89	203,39	64,88	1304,95	0,342	262,080
MÉDIA	99,61	177,12	87,26	1287,37	0,38	274,15
Desvio Padrão	3,08	52,09	53,06	51,88	0,05	91,74
Coefficiente de variação	3,10	29,41	60,80	4,03	12,24	33,46

Fonte: Autor (2016)

Já a Tabela 6 expõe os resultados obtidos no ensaio de densidade aparente dos corpos de prova de madeira *Pinus Elliottii*.

Tabela 6 – Resultados do Ensaio de Densidade Aparente dos Corpos de Prova de Madeira

CORPOS DE PROVA DE MADEIRA - ENSAIO DENSIDADE APARENTE						
CORPOS DE PROVA DENSIDADE	ALTURA (mm)	LARGURA (mm)	COMPRIMENTO (mm)	VOLUME SATURADO (cm³)	MASSA SECA(kg)	DENSIDADE APARENTE (kg/m³)
D1	96,5	66,00	195,00	1241,96	0,521	419,500
D2	96,80	64,80	193,00	1210,62	0,405	334,539
D3	96,20	65,20	198,00	1241,90	0,406	326,918
D4	96,00	64,30	193,00	1191,35	0,448	376,044
D5	97,50	65,30	198,00	1260,62	0,414	328,411
D6	98,50	66,00	199,00	1293,70	0,452	349,386
D7	97,90	65,00	194,00	1234,52	0,403	326,443
D8	98,50	65,90	198,00	1234,52	0,438	354,794
D9	97,00	65,50	194,50	1235,76	0,411	332,590
D10	97,50	66,00	196,00	1261,26	0,476	377,400
D11	97,20	65,40	195,20	1240,86	0,400	322,356
D12	97,90	65,10	190,00	1210,93	0,397	327,849
MÉDIA	97,29	65,38	195,31	1238,17	0,43	348,02
Desvio Padrão	0,83	0,54	2,65	26,77	0,04	29,52

Fonte: Autor (2016)

Conforme Panshin e De Zeeuw (1980), citado por Lobão, *et. al.* (2004), a densidade básica da madeira varia em função da idade da árvore, sendo aumentada rapidamente durante a idade juvenil e lentamente até alcançar a maturidade e após isso permanece constante. E, de acordo com esses mesmos autores, a densidade tem uma relação direta com as propriedades mecânicas da madeira e, conseqüentemente com as dimensões das células desse material. Conforme o estudo de Lobão, Lúcia, Moreira, & Gomes (2004), a madeira nas suas diferentes densidades apresentava variações consideráveis em sua resistência a flexão e outras propriedades mecânicas.

Como não há normas e nem bibliografias que estudam essas características no bambu, com esse trabalho é possível justificar a menor resistência à flexão do corpo de prova de madeira, bambu e PET pela menor densidade desse corpo de prova em relação aos corpos de prova de madeira. A diferença da densidade aparente desses corpos foi de 21,23%, em que a madeira foi superior ao composto de madeira, bambu e PET. Isso acarreta uma diferença de 26,60% de resistência a

flexão, em que a madeira é mais resistente do que o composto. Sendo assim, é possível afirmar que um dos motivos do composto ter menor resistência a flexão é em decorrência de sua menor densidade básica quando comparada com a madeira maciça.

7. CONCLUSÃO

A pesquisa apresentou resultado satisfatório ao estudo proposto, pois conciliou a aplicação de um material renovável, atendendo o objetivo específico do tema sustentabilidade, juntamente a uma resistência a flexão considerável para substituir elementos de madeira fletidos, como a terça de telhado, tornando o método uma alternativa aplicável a residências de pequeno porte, que utiliza materiais renováveis, bambu *Bambusa tuldoides*, madeira *Pinus Elliotti* e o PET.

Apesar das irregularidades apresentadas pelo material composto, a união com a garrafa PET proporcionou estabilidade aos corpos de prova.

Os ensaios de flexão possibilitaram uma análise da resistência demonstrando que o composto pode ser utilizado em terças de madeira, bambu e PET, visto que sua resistência foi proporcional à resistência a flexão de madeiras de *Pinus Elliottii* com nós, já que no Brasil é difícil conseguir madeiras isentas de nós para construção civil, apenas para pesquisa.

Os resultados podem ter apresentado discrepância de valor devido algumas decorrências, entre elas estão: o ponto de aplicação das cargas, as condições dos corpos de prova, como a interferência da idade do bambu que gera uma diferença de espessura, e comprimento dos colmos.

Para complementação do estudo do uso de terças de bambu em telhados, recomenda-se pesquisas quanto a forma de fixação desses elementos, além de estudos sobre outras partes constituintes de um sistema de cobertura.

REFERÊNCIAS

15392, ISO. **SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. Disponível em: <<https://www.iso.org>>. Acesso em: 2015.

ABNT. **NBR 15575**. 2013.[s.n.], 2013. Acesso em: 27 Outubro 2015.

ARBOLAVE, Cecilia; FOGUEIRA, Laura. Casa. **Casa**, 11 fev. 2015. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materia/a-forca-e-a-leveza-do-bambu-na-igreja-de-simon-velez-e-outras-obras#1>>.

AZAMBUJA, Maximiliano D. A.; KAWAKAMI, Claudia A. F. Painéis em Bambu para Habitação Social. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, p. 15, 2015.

BARELLI, Breno G. P. **Design para a sustentabilidade**: Modelo de cadeia produtiva do bambu laminado colado (BLC) e seus produtos. Universidade Estadual Paulista. Bauru: [s.n.], 2009.

BARROS, Bruna R. D.; SOUZA, Flávio A. M. D. Bambu: Alternativa Construtiva de Baixo Impacto Ambiental. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004, São Paulo. São Paulo, 2004.

BASTOS, Pedro K. X. **Apostila Construções de Edifícios**. 2011. 16ª - Rios Ltda. Juiz de Fora, 2011. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/pares/files/2009/09/Apostila-Constru%C3%A7%C3%A3o-de-Edif%C3%ADcios-1-20131.pdf>>. Acesso em: 30 Outubro 2015.

BOYLESTAD, Robert L.; NASHELSKY, Louis. **Dispositivos Eletrônicos e teoria de circuitos**. 11ª. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

BRITO, Eder. **ESTRUTURAS DE MADEIRA**. 2016.[s.n.], 2016.

CAEIRO, João G. B. D. M. **Construção em bambu**. 2010. 141p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - [s.n.], Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa. Lisboa, 2010.

CALIL JÚNIOR, CARLITO; ALVES DIAS, ANTONIO. AÇÃO DA MADEIRA EM CONSTRUÇÕES RURAIS. **R. Bras. Eng. Agrí. Ambiental**, p. 71-77, 1997.

CASA. **Casa**, 27 outubro 2015. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materia/a-forca-e-a-leveza-do-bambu-na-igreja-de-simon-velez-e-outras-obras#1>>.

CHING, Francis D. K. **Técnicas de Construção Ilustradas**. 4ª. ed. Porto Alegre: Bookman, v. Único, 2010. 480 p.

CONSTRUÇÃO, CÂMARA D. I. D. GUIA DE SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO, Belo Horizonte, p. 14, 2008.

CORBO, Javier. Dream! Alcalá. **Dream! Alcalá**, 03 novembro 2015. Disponível em: <<http://www.dream-alcala.com/en/7252-madrid-barajas-airport/>>.

CRUZ, Martha L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie Phyllostachys aurea**: Comportamento à flambagem. 2002. 134p. Dissertação (Mestrado em Estruturas) - PUC - Rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002. Acesso em: 26 Outubro 2015.

FERREIRA, Gisleiva C. D. S. **Vigas de concreto armadas com taliscas de bambu Dendrocalamus Giganteus**. 2007. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - FEC - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2007. Acesso em: 2 Novembro 2015.

FILHO, Ângelo C. **Avaliação de Pinus Elliottii Engelm. Com cinco diferentes idades no município de Ijuí-RS**. 2012. 51p. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Agronomia) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2012. Acesso em: 5 Novembro 2015.

FINNFOREST, Jular M. **LVL I-JOIST na vanguarda da construção em madeira**. Disponível em: <<http://www.jular.pt>>. Acesso em: 2015.

FLACH, Rafael S. **Estruturas para telhados**: Análise técnica de soluções. 2012. Trabalho de Diplomação - [s.n.]. Porto Alegre, 2012. Acesso em: 31 Outubro 2015.

FREITAS, CARLOS C. G. et al. TRANSFERÊNCIA TECNOLÓGICA E INOVAÇÃO POR MEIO DA SUSTENTABILIDADE, Rio de Janeiro, maio 2011.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, 2015. Disponível em: <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7>. Acesso em: 5 Novembro 2015.

JARAMILLO, S. V. LA GUADUA EN LOS PROYECTOS DE INVERSIÓN. **IN: ANALES DEL CONGRESO MUNDIAL DE BAMBÚ**, GUARDA, PEREIRA, COLÔMBIA, 1992.

JUNIOR, Rubens C. **Arquitetura com bambu**. 2000. 109p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

LISBÔA, Sumara. A Cartilha do Bambu. **Associação Catarinense do Bambu**, 2015. Disponível em: <http://bambusc.org.br/?page_id=258>. Acesso em: 24 Setembro 2015.

LOBÃO, Moisés S. et al. CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE EUCALIPTO COM DIFERENTES DENSIDADES. **Árvore**, p. 889-894, 2004.

LOPES, Gerson L. Bambusa tuldoides Munro. Bambu, taquara. **Laboratório de Manejo Florestal**, 2015. Disponível em: <<http://sites.unicentro.br/wp/manejoflorestal/bambusa-tuldoides/>>. Acesso em: 4 Novembro 2015.

LOPEZ, FERREIRA A. D. O. A. H. **PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE DUAS ESPÉCIES DE BAMBU TERMORRETIFICADAS**. 2012.[s.n.]. SEROPÉDICA, 2012.

MARÇAL, Vitor H. S. **Uso do Bambu na Construção Civil**. 2008. 60p. Monografia - Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

MEDEIROS, Virgilio A.; NARDI, Vivianne. **Casa Sustentável**. 1999.Viveiros., 1999.

MORAES, Elisabete N. **UFSC**. Disponível em: <http://user.das.ufsc.br/~elisanm/Eletronica/Aula10-Introducao_TJB_web.pdf>. Acesso em: 2015.

MORAES, Fabio B. D. Moodle, 2015. Disponível em: <<http://moodle2.pb.utfpr.edu.br/moodle/course/view.php?id=43>>. Acesso em: 22 Abril 2015.

MOTTA, JESSICA C. S. S. et al. TIJOLO DE SOLO-CIMENTO: ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E VIABILIDADE ECONÔMICA DE TÉCNICAS CONSTRUTIVAS SUSTENTÁVEIS. **EXACTA**, 2014.

NETO, Jacob S. P. et al. Aplicação do Bambu nas Construções Rurais. **Revista Educação Agrícola Superior**, 2009.

NETO, Miguel F. H. **Estruturas de madeira**. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/disciplinas/madeira/2009/cap8.pdf>>. Acesso em: 30 Outubro 2015.

NMBA. National Mission on Bamboo Applications. **NMBA - National Mission on Bamboo Applications**, 2009. Disponível em: <www.bambootech.org>. Acesso em: 26 Outubro 2015.

OLIVEIRA, Thaisa F. C. S. D. **Sustentabilidade e Arquitetura - Uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. 2006. 136p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2006.

OLIVEIRA, THAISA F. C. S. D. **SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil**. 2006.[s.n.]. Maceió, 2006. Acesso em: 2015.

OSTAPIV, Fabiano. **Análise e Melhoria de Processo Produtivo de Tábuas de Bambu**. 2007. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

OSTAPIV, Fabiano. **RESISTÊNCIA MECÂNICA DO MATERIAL COMPÓSITO: MADEIRA DE EUCALIPTO-LÂMICA DE BAMBU**. Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá: [s.n.], 2011.

OSTAPIV, Fabiano; FAGUNDES, Edson D. Perspectivas para o desenvolvimento da cultura e da cadeia produtiva do bambu no Paraná, tendo como referência a inivação, a educação tecnológica e o modelo produtivo chinês. **Athena Revista Científica de Educação**, v. 9, n. 9, jul./dez 2007.

OSTAPIV, Fabiano; KNEBEL, Douglas G.; OSTAPIV, Gabriel. Da Touceira de Bambusa tuldoides à produção de materiais compósitos (bambu-PET) para uso na construção civil popular. **III Seminário Nacional do Bambu - SNB 2015**, Goiânia, p. 13, 27 Outubro 2015.

PADOVAN, Roberval B. **O Bambu na Arquitetura: Design de Conexões Estruturais**. 2010. 184p. Dissertação (Mestrado em Desing) - UNESP - Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2010.

PEIXOTO, Luciana K. **Sistema Construtivo em Bambu Laminado Colado: Proposição e Ensaio do Desempenho Estrutural de uma Treliça Plana do Tipo Warren**.

2008. 205p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

PINHEIRO, Roberto V. **Emprego da Madeira do Gênero Pinus na Construção de Estruturas de Cobertura**. 1996. 185p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - USP - Universidade de São Paulo. São Carlos, 1996. Acesso em: 30 Outubro 2015.

PLANETA Sustentável. **Planeta Sustentável**, 27 out. 2015. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/casa/conteudo_234776.shtml>.

PLETZ, Everaldo; MOLINA, Julio C. **Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. 1ª. ed. São Paulo: Pini Ltda, v. único, 2010.

QUEIROZ, Araci; CAPELLO, Giuliana; WENZEL, Marianne. http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/casa/conteudo_234776.shtml. **Planeta Sustentável**, 02 nov. 2015. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/casa/conteudo_234776.shtml>.

RAMOS, Larissa L. A. Estudo de caso: proposta de uso do bambu em projeto habitacional na cidade de Vitória - ES. **VI Encontro Nacional e VI Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**, 9 setembro 2011.

RIVERO, Lourdes A.; MORETON, Pedro S.; GOMES, Carlos E. **Estrutura em Bambu para Área de Uso Público**. 2010.[s.n.]. Salto, 2010.

SALGADO, Julio C. P. **Técnicas e práticas construtivas para edificações**. 2ª. ed. São Paulo: Érica, v. Único, 2009.

SANT'ANNA, Elisa T. **Construção de um centro de visitantes na Embrapa Fazendinha-Agroecológica utilizando materiais alternativos**. 2008.Monografia. Seropédica, 2008. Acesso em: 26 Outubro 2015.

SANTOS, Natanaelyfle R. G. D. **Projeto, construção e análise de desempenho de coletores solares alternativos utilizando garrafas pet**. 2007. Dissertação de mestrado - [s.n.]. Natal, 2007. Acesso em: 03 Novembro 2015.

SF (Ed.). **dds**. dd: dds, dd.

SILVA, Roberto M. D. C. E. O bambu no Brasil e no Mundo, Setembro 2005.

SOCIETY, Royal H. Royal Horticultural Society. **Royal Horticultural Society**, 2015. Disponível em: <<https://www.rhs.org.uk/>>. Acesso em: 26 Outubro 2015.

SOUZA, ADRIENE P. C. C. BAMBU NA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL NO BRASIL, Belo Horizonte, junho 2002.

SUZUKI, Joozi. **Manejo de bambuzais da região de Curitiba visando produção de varas com potencial de utilização na construção civil**. Universidade Federal de Santa Catarina. Curitiba: [s.n.], 2013.

TREES, Magestic. Magestic Trees. **Magestic Trees**, 2015. Disponível em: <<http://www.majestictrees.co.uk>>. Acesso em: 26 outubro 2015.

VALIM, VINICIUS G. **LIGHT STEEL FRAMING: VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA INOVADOR NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. 2014.[s.n.]. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/110040/000952057.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 2015.

VASCONCELLOS, Raphael M. D. Bambu Brasileiro. **Bambu Brasileiro**, 03 novembro 2015. Disponível em: <<http://www.bambubrasileiro.com/info/arq/3.html>>.

VASCONCELLOS, Raphael M. D. Bambu Brasileiro. **Bambu Brasileiro**, 2015. Disponível em: <www.bambubrasileiro.com.br>. Acesso em: 24 Outubro 2015.

VIVIMETALIU. Vivimetalu. **Vivimetalu**, 2015. Disponível em: <<https://vivimetalu.wordpress.com/2015/05/26/o-taj-mahal/>>. Acesso em: 9 Novembro 2015.