

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL - DACOC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC**

RICARDO JOSÉ GUIMARÃES

**AVALIAÇÃO DO USO DE BAMBU COMO ESTRUTURA
EM ALVENARIA DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2017

RICARDO JOSÉ GUIMARÃES

**AVALIAÇÃO DO USO DE BAMBU COMO ESTRUTURA
EM ALVENARIA DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dra. Celimar Azambuja Teixeira

Co-orientadora: Prof^a Dra. Elisabeth Penner

CURITIBA

2017



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº _____

A Dissertação de Mestrado intitulada AVALIAÇÃO DO USO DE BAMBU COMO ESTRUTURA EM ALVENARIA DE BLOCOS DE SOLO-CIMENTO, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) Ricardo José Guimarães, no dia 04 de agosto de 2017, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Celimar Azambuja Teixeira - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). José Alberto Cerri - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Khosrow Ghavami- PUC-RIO

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 04 de agosto de 2017.

Carimbo e Assinatura do (a) Coordenador(a) do Programa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

G963a Guimaráes, Ricardo José
2017 Avaliação do uso de bambu como estrutura em alvenaria de blocos de solo-cimento / Ricardo José Guimaráes.-- 2017.
84 f.: il.; 30 cm.

Disponível em world wide web.
Texto em português, com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2017.
Bibliografia: p. 80-84.

1. Bambu. 2. Solo-cimento. 3. Blocos (Materiais de construção). 4. Bambu - Propriedades mecânicas. 5. Meio ambiente. 6. Engenharia civil - Dissertações. I. Teixeira, Celimar Azambuja, orient. II. Penner, Elisabeth, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: Ed. 23 -- 624

Dedico este trabalho, com muito amor e carinho, à minha esposa Luciane, companheira de toda a vida, e aos nossos filhos, Leonardo e Rafaella, meu maior tesouro.

“É preciso muita fibra para chegar às alturas e ao mesmo tempo muita flexibilidade para se curvar ao chão”. (COVEY, Stephen Richards).

RESUMO

GUIMARÃES, Ricardo José. **Avaliação do uso de bambu como estrutura em alvenaria de blocos de solo-cimento.** 2017. 84 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

A utilização de materiais que envolvam menor quantidade de energia no processo produtivo, que sejam mais facilmente reabsorvidos pela natureza e que gerem menos poluentes e resíduos é de grande interesse para o futuro do planeta e de seus habitantes. Neste trabalho são apresentados temas da área da sustentabilidade para a construção civil, como as potencialidades e viabilidade técnica de um material emergente no Brasil, o bambu, que se encaixa perfeitamente na questão, pois é um material que detém boas propriedades de engenharia e com grande disponibilidade no meio rural. Além deste, os blocos de solo-cimento, tão bem empregados em edificações atuais, também destinados às construções sustentáveis, fazem parte da pesquisa. Em um experimento que pretendeu unir o ensinamento acadêmico com a prática, foi desenvolvido um protótipo de parede em blocos de solo-cimento estruturado com varas de bambu. Como objetivos, a avaliação das resistências dos blocos de solo-cimento à compressão, do bambu à compressão axial e à flexão, e do conjunto paredes de blocos de solo-cimento/bambu também à compressão, foram os elementos principais da pesquisa. Obtiveram-se resultados de carga de ruptura de 153 kN para as paredes e de tensão normal de ruptura de 7,45 MPa para os blocos de solo cimento nos ensaios de compressão. Nos ensaios de compressão do bambu, os valores obtidos resultaram em tensões normais de ruptura de 119,09 MPa e de 96,21 Mpa para corpos de prova com e sem nós, respectivamente. Os resultados obtidos nos testes desenvolvidos com os materiais separadamente e também do conjunto mostraram que ambos satisfazem perfeitamente ao proposto neste trabalho, o que permite considerar adequada a metodologia utilizada na confecção dos corpos de provas bem como na execução dos ensaios relacionados.

PALAVRAS-CHAVE: bambu. blocos de solo-cimento. propriedades mecânicas.

ABSTRACT

GUIMARÃES, Ricardo José. **Evaluation of the use of bamboo as structure in masonry of soil-cement blocks.** 2017. 84 sheets. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Technological University Federal of Paraná. Curitiba, 2017.

The use of materials that involve less energy in the production process, are more easily absorbed by nature and generate less pollutants and waste is of great interest for the future of the planet and its inhabitants. This paper presents themes of sustainability for civil construction, such as the potentialities and technical feasibility of an emerging material in Brazil, bamboo, which fits perfectly in the question, since it is an element that has good engineering properties and with great availability in rural areas. In addition to this, soil-cement blocks, so well used in today's buildings, also intended for sustainable buildings, are part of the research. In an experiment that sought to unite the academic teaching with practice, a prototype of wall in blocks of soil-cement structured with bamboo sticks was developed. The main elements of the research were the evaluation of the strengths of the compression-conditioned soil-cement blocks, of bamboo to axial compression and bending, and of the combination of soil-cement / bamboo blocks. Results of 153 kN were obtained for the walls and 7.45 MPa for the soil cement blocks in the compression tests. In the bamboo compression tests, the obtained values resulted in 119.09 MPa and 96.21 MPa for test bodies with and without nodes, respectively. The results obtained in the tests developed with the materials separately and also from the set showed that both perfectly fit the one proposed in this work, which allows to consider adequate the methodology used in the preparation of the test bodies as well as in the execution of the related tests.

KEYWORDS: bamboo. soil-cement blocks. mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Detalhe do bloco de solo-cimento	21
Figura 2 - Andaimes de Bambu em Única Camada - Single Layered Bamboo Scaffolds (SLBS)	29
Figura 3 - Andaimes de Bambu em Dupla Camada - Double Layered Bamboo Scaffolds (DLBS)	29
Figura 4 - As dimensões típicas de acordo com Yu, Chung e Chan - <i>Bambusa pervariabilis</i> ou Kao Jue e <i>Phyllostachys pubescens</i> ou Mao Jue.....	29
Figura 5 - Vara de bambu - CPB 1, posicionada na prensa (detalhe)	35
Figura 6 - Vara de bambu - CPB 2, posicionada na prensa.....	35
Figura 7 - Corpo de Prova Parede 1 (P 1).....	37
Figura 8 - Pórtico para ensaio de compressão.....	37
Figura 9 - Detalhe do bloco de solo-cimento (inteiro)- vista lateral.....	37
Figura 10 - Detalhe do bloco de solo-cimento (1/2 tijolo)- vista lateral	38
Figura 11 - Detalhe das varas de bambu	38
Figura 12 - Vista lateral da parede (P 1).....	38
Figura 13 - Vista superior da parede (P 1)	38
Figura 14 - Vista lateral da parede (P 2).....	38
Figura 15 - Vista superior da parede (P 2)	38
Figura 16 - Viga em concreto para assentamento sendo umedecida	39
Figura 17 - Fiada inicial com blocos de solo-cimento (P 1)	39
Figura 18 - Vista lateral dos corpos de prova P 1 e P 2	39
Figura 19 - Vista frontal da P 1 (primeiro plano).....	39
Figura 20 - Vista das P's sendo colocados no pórtico	40
Figura 21 –Transdutor digital de deslocamentos posicionado próximo do próximo do eixo central.....	40
Figura 22 -Transdutor digital de deslocamentos posicionado próximo da extremidade da P 1	40
Figura 23 - Instante do provável rompimento interno do bambu	41
Figura 24 - P 1 Início das fissuras	41
Figura 25 - P 1 Fissuramento final	41

Figura 26 - P 1 Rompimento final.....	41
Figura 27 - P 1 - Bambu “rompido” no interior do P 1.....	42
Figura 28 - P 1 - Detalhe do bambu na extremidade.....	42
Figura 29 - Curva Ensaio de Ruptura P 1.....	42
Figura 30 - Detalhe da vara de bambu posicionada no P 1.....	43
Figura 31 - P 2 – Relogios digitais medidores de dados posicionados (detalhe)	44
Figura 32 - P 2	44
Figura 33 - Detalhe da vara de bambu no P 2, após rompimento	44
Figura 34 - Materiais para capeamento	48
Figura 35 - Bloco de solo-cimento capeado em uma face	48
Figura 36 - Detalhe da bancada de trabalho com blocos de solo-cimento capeados	48
Figura 37 - Vista dos blocos de solo-cimento em processo de cura do capeamento.....	48
Figura 38 - Ensaio de compressão dos blocos de solo-cimento	49
Figura 39 - Amostras de bambu preparadas para o ensaio de umidade	51
Figura 40 - Amostras de bambu preparadas para a secagem em estufa	52
Figura 41 - Detalhe da estufa com as amostras de bambu	52
Figura 42 - Corpos de prova de bambu prontos para o ensaio de compressão (CPB).....	53
Figura 43 - Corpos de prova de bambu com nós, prontos para o ensaio de compressão (CPB)	54
Figura 44 - Corpo de prova de bambu com <i>teflon</i> nas extremidades.....	55
Figura 45 - Figura esquemática do posicionamento do colmo de bambu para o ensaio à flexão.....	57
Figura 46 - Apoio com seção circular tipo “berço” utilizado no ensaio de flexão	58
Figura 47 - Colmo de bambu posicionado na prensa durante o ensaio à flexão.....	59
Figura 48 - Colmo de bambu posicionado na prensa durante o ensaio à flexão (vista lateral).....	59
Figura 49 - Colmo de bambu após a ruptura.....	59
Figura 50 - Detalhe das vigas de apoio para as pequenas paredes (baldrame)	62
Figura 51 - Detalhe de um CP posicionado para o ensaio à compressão.....	62
Figura 52 - Corpo de prova, CP 1, sem estrutura de bambu.....	63
Figura 53 - Corpo de prova, CP 4, com estrutura de bambu nas extremidades.....	63

Figura 54 - Corpo de prova, CP 7, com estrutura total de bambu	63
Figura 55 - Detalhe dos colmos de bambu preparados para inserção nas paredes..	64
Figura 56 - Colmos de bambu com o diafragma na extremidade,colocados no interior dos furos dos blocos nas paredes.....	64
Figura 57 - CP recebendo capeamento e regularização para apoio	64
Figura 58 - CP regularizado e capeado.....	64
Figura 59 - CP 1 após rompimento no ensaio à compressão.....	68
Figura 60 - CP 3 (sem estrutura em bambu) após o final do ensaio	68
Figura 61 - Início do ensaio do CP 7 (parede com oito bambus), vista anterior.....	69
Figura 62 - Final do ensaio do CP 7 (parede com oito bambus), vista posterior.....	69
Figura 63 - CP 4 após rompimento	70
Figura 64 - Detalhe das peças de bambu do retiradas do interior do CP 4	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Compressão/deformação dos CP's de bambu	36
Gráfico 2 - Curva Ensaio de Ruptura P 1	42
Gráfico 3 - Amostras válidas do ensaio de umidade	50
Gráfico 4 - Amostras válidas para o ensaio de compressão	49
Gráfico 5 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 1	73
Gráfico 6 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 2	73
Gráfico 7 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 3	74
Gráfico 8 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 4	74
Gráfico 9 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 5	75
Gráfico 10 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 6	75
Gráfico 11 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 7	76
Gráfico 12 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 8	76
Gráfico 13 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 9	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Comparação de propriedades do bambu Mosô com madeiras brasileiras.....	27
Tabela 2 - Relação σ_T/γ bambu Mosô e aço CA-50.....	27
Tabela 3 - Dados dos ensaios de bambu	36
Tabela 4 - Carga aplicada x tempo – ensaio de ruptura P 1	43
Tabela 5 - Porcentagem de umidade dos blocos de solo-cimento.....	46
Tabela 6 - Valores da Resistência à compressão dos CPB's ensaiados	50
Tabela 7 – Valores da Resistência à compressão dos CPB's com os nós.....	56
Tabela 8 - Valores da Resistência à compressão dos CPB's sem os nós relativos a cada barra ensaiada.....	56
Tabela 9 - Valores da Resistência à compressão dos CPB's sem os nós relativos a cada barra ensaiada e sua região de amostra.....	56
Tabela 10 - Valores de Resistencia à flexão dos CPB's	60
Tabela 11 - Valores comparativos da resistência à flexão como deslocamento nos CPB's.....	67
Tabela 12 - Relação carga de referência/deslocamento – ensaio à compressão CP's 1 a 9.....	72

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
P 1	Parede 1 (Corpo de Prova)
P 2	Parede 2 (Corpo de Prova)
CPB 1	Corpo de Prova De Bambu 1
kN	Quilo-Newton
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
RCC	Resíduos de Construção Civil

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANITECO	Associação Nacional da Indústria do Tijolo Ecológico
CODETEC	Companhia de Desenvolvimento Tecnológico - Unicamp
DACOC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
ONU	Organização das Nações Unidas

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	OBJETIVO GERAL	17
1.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	17
2.1	BLOCOS DE SOLO-CIMENTO	18
2.2	BAMBU	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	33
3.1	ENSAIOS DE COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE SOLO CIMENTO	33
3.2	ENSAIOS DO BAMBU	33
3.2.1	UMIDADE	35
3.2.2	COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS	35
3.2.3	FLEXÃO SIMPLES RETA	35
3.3	ENSAIOS DAS PAREDES	37
4	RESULTADOS	45
4.1	BLOCOS DE SOLO-CIMENTO	46
4.1.1	UMIDADE	46
4.1.2	COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE SOLO CIMENTO.....	47
4.2	BAMBU	51
4.2.1	UMIDADE	51
4.2.2	COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS	53
4.2.3	RESISTENCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO	57
4.3	PAREDES.....	61
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	65

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
6.1 CONCLUSÕES.....	77
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	79
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais que envolvam menor quantidade de energia no processo produtivo, que sejam mais facilmente reabsorvidos pela natureza e que gerem menos poluentes e resíduos é de grande interesse para o futuro do planeta e de seus habitantes. Processos que facilitem e reduzam os custos de construção de moradias e outras edificações podem contribuir como alternativas, minimizando, principalmente, o problema de habitação para significativa parcela da população brasileira. O bambu é um material que detém boas propriedades de engenharia, disponível no meio rural, mas ainda subutilizado no Brasil.

Pertencente à família das gramíneas e conhecido na Ásia como “a planta dos mil usos”, o bambu encontra vasta aplicabilidade no âmbito da construção civil, sobretudo como elemento estrutural (BERALDO & PEREIRA, 2008). No entanto, pouca informação pode ser encontrada no Brasil sobre as características de resistência mecânica do bambu, bem como sobre uma metodologia apropriada para ensaios com este material, visto as normas ISO serem as de mais fácil acesso.

Este projeto de pesquisa propôs avaliar a utilização do bambu como componente de elemento estrutural em alvenaria convencional de blocos de solo-cimento, bastante empregados em construções com terra e largamente adotados desde a antiguidade. Atualmente, o uso da terra como material de construção pode ser distinguido de dois modos: a sobrevivência dos sistemas construtivos primitivos, preservados pela carência em que vivem algumas populações; ou pelo uso de técnicas inovadoras, incentivadas pelas investigações em universidades e outras instituições, caracterizadas pela simplicidade, eficácia e baixo custo.

Aliando-se estes dois materiais de construção - blocos de solo-cimento e bambu - a uma nova concepção estrutural ainda que em fase de experimentação, demonstrou-se a viabilidade da utilização do bambu como componente estrutural em elementos adotados para composição de sistema de vedação vertical na construção de edificações.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização do bambu como estrutura em alvenaria de blocos de solo-cimento.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar a resistência dos blocos de solo-cimento à compressão axial;

Avaliar a resistência do bambu à compressão axial e à tração na flexão;

Avaliar a resistência à compressão axial do conjunto paredes de blocos de solo-cimento/bambu.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A preocupação com a utilização de materiais que envolvam menor quantidade de energia no processo produtivo, que sejam mais facilmente reabsorvidos pela natureza e que gerem menos poluentes e resíduos, serve de base para uma investigação no setor da construção civil. Processos que facilitem a execução de moradias alternativas para a habitação popular, minimizando o problema para significativa parcela da população brasileira, ainda são insignificantes. A partir deste pressuposto o bambu sendo um material de boas propriedades de engenharia e com grande disponibilidade no meio rural, pode tornar-se uma opção de futuro para os setores construtivos, estando presente em estruturas de pequeno, médio e grande porte. Devido ao reduzido tempo para atingir idades ideais de corte e necessidade de pequenas áreas plantadas para obtenção de material suficiente, o bambu segue características de material de construção renovável.

Como este trabalho pretendeu avaliar a resistência do conjunto bloco de solo-cimento/bambu, os resultados poderão contribuir com a melhoria de processos construtivos, no que se refere a construções sustentáveis e de baixo impacto ao meio ambiente.

2.1 BLOCOS DE SOLO-CIMENTO

Na construção civil alguns materiais tais como concreto, aço e madeira, são utilizados em larga escala. Contudo, existem materiais que vem sendo introduzidos nas obras a cada dia. No entanto, existem materiais que vem sendo pesquisados e explorados em várias estruturas pelo mundo, visto que os elementos comuns sofrem com o processo de extração no qual o gasto energético é muito alto ou a degradação do meio ambiente para a obtenção é muito elevada. Desta forma, o pensamento ecológico preocupado com o futuro da construção civil mundial surge com grande expressão, criando um novo paradigma no setor e avaliando novas técnicas e tecnologias afins.

Para se definir o que vem a ser tecnologia apropriada e seu campo de atuação, deve-se procurar esclarecer inicialmente que tecnologia não deve ser confundida com técnica. Apesar dos leigos e a maioria das pessoas confundirem na linguagem coloquial estes dois termos, tecnologia e técnica são conceitos bastante diferenciados. A técnica, ao contrário da tecnologia, é tão antiga quanto o homem, pois aparece com a fabricação de instrumentos. De acordo com a antropologia, não há homem sem instrumentos, por mais rudimentares que sejam. O homem ao produzir fogo, ou construir ferramentas e armas, estava utilizando-se de uma técnica, o que permitiu que sobrevivesse e pudesse se impor sobre os animais. A fabricação da pedra lascada e o aparecimento do homem seriam assim fatos simultâneos (VARGAS, 1994).

As técnicas são transmitidas de geração a geração e são aperfeiçoadas por meio do conhecimento prático, da percepção e da capacidade de cada indivíduo ou grupo social. Alguns grupos sociais que conheciam determinadas técnicas se organizavam em sociedades de artesãos (ABIKO, 1980).

Tecnologia é um produto da ciência e da engenharia que envolve um conjunto de instrumentos, métodos e técnicas que visam a resolução de problemas. É uma aplicação prática do conhecimento científico em diversas áreas de pesquisa.

Para que uma tecnologia possa ser considerada apropriada diversos autores estabelecem critérios, na maioria das vezes genérica e não hierarquizados (CODETEC, 1979). Entre estes critérios pode-se relacionar a integração com o ecossistema, a autonomia local, o baixo custo, a absorção de mão de obra, a adaptabilidade e a simplicidade, além de ser assimilada culturalmente com rapidez.

Presentemente, os critérios relacionados com o meio-ambiente e a sustentabilidade têm sido particularmente enfocados como condições para que as tecnologias sejam consideradas apropriadas (ABIKO, 1980). Segundo Sobrinho, Torres e Barbosa (2015), os resíduos produzidos pela construção civil e pelas indústrias podem gerar graves problemas ao meio ambiente, tais como: grande ocupação de espaços em aterros sanitários, enchentes e elevado período de decomposição. É de suma importância para a sustentabilidade do meio ambiente, a reciclagem ou o reaproveitamento de materiais, além da diminuição dos custos e da energia no processo de fabricação de novos produtos.

O setor da construção civil é um grande consumidor de recursos não renováveis, principalmente os de origem mineral, tendo uma grande participação na taxa de geração de poluentes e sendo uma das maiores fontes de geração dos resíduos sólidos urbanos, em especial os resíduos de construção civil (RCC). Em vista da grande interferência no cotidiano, nas atividades econômicas, na qualidade de vida e no meio ambiente, se faz notória a importância de uma gestão sustentável do RCC (FERREIRA e MOREIRA, 2013).

Além disso, os setores industriais, e notadamente a indústria da construção civil, causam grande impacto ambiental, seja colaborando para o aumento do efeito estufa, pelo alto consumo de energia, pela geração de resíduos e pela elevada utilização de recursos naturais (MARINHO 2013).

O uso da terra como material de construção remonta a épocas em que o homem sentiu a necessidade de construir o próprio abrigo, ao invés de usar apenas os recursos oferecidos pela natureza. No Antigo Testamento, muitos séculos antes de Cristo, encontram-se referências sobre a fabricação de adobes, com os quais os egípcios levantaram provavelmente muito dos edifícios e monumentos (Êxodo 5, 18). As técnicas de construção com terra têm mostrado a versatilidade através dos séculos. Em todos os recantos do mundo, a construção com terra sempre esteve presente, passando pelas devidas adaptações técnicas e culturais para atender às necessidades do homem e do ambiente construído. Os homens souberam como explorar as boas propriedades da terra e utilizá-la em belíssimas construções. O conhecimento e habilidade necessários para construir com terra foram transmitidos gradativamente para outras regiões (SALGADO *et al.*, 2012).

Atualmente o uso da terra na construção pode ser distinguido em dois níveis: por um lado, a sobrevivência dos sistemas construtivos mais primitivos gerados pela

carência em que vivem algumas populações; por outro lado, pelas investigações e incentivos de instituições de pesquisas para o uso de técnicas inovadoras coerentes, caracterizadas pela simplicidade, eficácia e baixo custo. As contribuições para o avanço de tecnologia de construção com terra são inúmeras, vêm de todas as regiões do mundo, de profissionais de diversas áreas, estimulados, criativos e extremamente dedicados (NEVES, 2006).

O solo é um material apropriado para as mais diversas aplicações em construções devido à sua abundância, facilidade de obtenção e de manuseio e baixo custo, permitindo um amplo emprego em soluções arquitetônicas relatadas ao longo da história (GRANDE, 2003). De acordo com a ABCP (1986), o solo-cimento é o produto resultante da mistura íntima de solo, cimento Portland e água que compactados na umidade ótima e sob a máxima massa específica seca, em proporções previamente estabelecidas, adquire resistência e durabilidade por intermédio das reações de hidratação do cimento.

Segundo a NBR 10834/2013, define-se o bloco vazado de solo-cimento como componente para alvenaria de seção transversal útil entre 40 e 80% da seção transversal total, constituído por uma mistura homogênea de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos. Conforme a NBR 8491/2012, define-se o tijolo maciço de solo-cimento como tijolo com volume real não inferior a 85% do volume total bruto, constituído por uma mistura homogênea de solo, cimento Portland, água e, eventualmente, aditivos. Estes blocos são classificados da seguinte forma:

- blocos vazados de solo-cimento comuns;
- blocos vazados especiais, e
- tijolos maciços de solo-cimento, todos com formato retangular e dimensões nominais definidas (conforme as normas NBR 8491/1984 e NBR 8492/1984).

O bloco de solo-cimento, depois de curado, tem alta resistência à compressão simples e baixa absorção d'água. A resistência é tanto mais elevada quanto maior for a quantidade de cimento empregada. (PINHEIRO *et al.*, 2010).

De acordo com a NBR 10834/2013, a resistência à compressão para blocos vazados de solo-cimento deve ser maior ou igual a 2,0 MPa para valores médios, e maior ou igual a 1,7 MPa para valores individuais, aos 28 dias de idade. Segundo a NBR 8491/2012, a resistência à compressão para tijolos maciços de solo-cimento não deve ser inferior a 2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais, com idade mínima de sete dias.

A absorção de água para blocos vazados de solo-cimento deve ser menor ou igual a 20% para valores médios, e menor ou igual a 22% para valores individuais, aos 28 dias de idade. Segundo a NBR 8491/2012, a absorção de água para tijolos maciços de solo-cimento não deve ser maior do que 20% para valores médios, e superior a 22% para valores individuais.

Os blocos e tijolos de solo-cimento devem apresentar aspecto homogêneo, compacto e arestas vivas, bem como devem ser isentos de fissuras ou outros defeitos que possam prejudicar seu assentamento, resistência ou durabilidade da construção.

Segundo estudos de Gutierrez, Zanatta, Martins e Barszcz (2015), foram ensaiados blocos de solo-cimento com teores de cimento de 7%, 10%, 13% e 16% produzidos na década de 1990 e observou-se que os valores de resistência aumentaram de forma significativa, chegando a ganhos de 250% em relação à resistência à compressão observada aos 14 dias, comprovando que o material continua ganhando resistência ao longo do tempo. Ressalta-se ainda, que o ganho de resistência foi considerável quando comparado a valores esperados em elementos com a utilização de cimento aos 28 dias de cura.

Embora existam várias pesquisas em torno do material solo-cimento, observa-se que raras são as informações obtidas para a escala de tempo utilizada no trabalho de GUTIERREZ *et al.* (2015). Desta maneira, comprova-se a viabilidade do material enquanto componente de uma construção sustentável.

Abiko (1987) trata da tecnologia do solo-cimento por uma ótica da conservação de energia, reaproveitamento de resíduos sólidos e desenvolvimento sustentável por meio de adoção de tecnologia apropriada, contribuindo para uma discussão bastante atual sobre a questão do consumo energético para a fabricação do cimento e o desperdício mapeado de casca de arroz e também de entulho cerâmico de construção, provando que esses resíduos, devido à capacidade de desenvolver reações pozolânicas, tem potencial para transformarem-se em subprodutos para a produção de cimentos alternativos.

O bloco de solo-cimento, também chamado de tijolo ecológico é uma alternativa para suprir uma carência habitacional devido ao baixo custo da construção, uma vez que busca valorizar os materiais naturais. Sendo um produto de encaixe, dispensa grandes pilares e formas para a execução da estrutura, garantindo mais agilidade ao longo da construção (ABIKO, 2001).

Segundo Sala (2006), pode-se definir por tijolo ecológico:

“O tijolo ecológico ou de solo-cimento é feito de uma mistura de solo e cimento, que depois são prensados; seu processo de fabricação não exige queima em forno à lenha, o que evita desmatamentos e não polui o ar, pois não lança resíduos tóxicos no meio ambiente. Para o assentamento, no lugar de argamassa comum é utilizada uma cola especial”.

Possui dois furos internos, onde permite embutir a rede hidráulica e elétrica, dispensando desta forma, o recorte das paredes. O sistema é modular e produz uma alvenaria uniforme, o que diminui as perdas no revestimento (Figura 1).

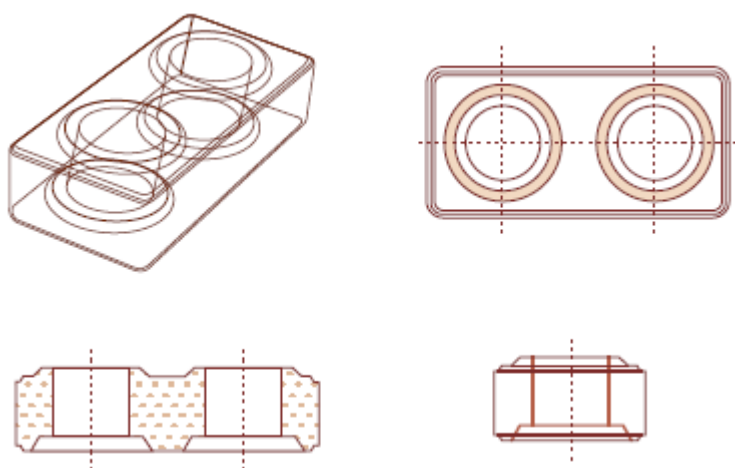


Figura 1 - Detalhe do bloco de solo-cimento
Fonte: Cartilha Ecoprodução tijolos ecológicos (2016)

Segundo o SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), as vantagens do bloco de solo-cimento vão além das ambientais, servindo também para a economia no processo construtivo, conforto e estética. De acordo com estudos realizados em todo o Brasil, tijolos ecológicos trazem para a obra de 20 até 40% de economia com relação à construção convencional (SEBRAE). Conforme SEBRAE (*apud*, OSCAR NETO, 2010) “hoje, em uma obra convencional, cerca de 1/3 do material vai para o lixo”. Essa técnica construtiva possui outras vantagens, dentre as quais se podem citar:

- redução em 30% do tempo de construção em relação à alvenaria convencional;
- estrutura: os encaixes e colunas embutidas nos furos distribuem melhor a carga sobre as paredes;

- redução do uso de madeira para forma de vigas e pilares quase a zero;
- economia de concreto e argamassa em cerca de 70%;
- economia de 50% de aço”.

Ainda de acordo com Oscar Neto (2010), o tijolo constrói a casa do rico e do pobre. Ele é a matéria-prima básica na maioria das construções do país. É conhecido apenas por tijolo, mas há alguns anos mais uma palavra foi acrescentada ao seu nome: ecológico. Em tempos de sustentabilidade ambiental, o tijolo ecológico ou tijolo modular destaca-se por apresentar uma menor agressão ao meio ambiente na sua fabricação.

2.2 BAMBU

Para que a sociedade alcance um nível aceitável de crescimento habitacional associado ao desenvolvimento sustentável, é necessário que a construção civil busque novas tecnologias que possam servir de elementos para manter esse processo. Após a identificação de inúmeros problemas ambientais e a constatação que a construção civil gera um grande impacto no meio ambiente, a atual tendência é uma busca por alternativas que façam a diferença na preservação do meio ambiente.

Entre os materiais ecologicamente amigáveis e de grande potencial para o uso na engenharia está o bambu. Suas boas características físicas e mecânicas, bem como sua forma geométrica peculiar, seu baixo custo e a facilidade de obtenção tornam-no largamente utilizado como material de construção em vários países nos quais cresce com abundância, principalmente nas zonas tropicais e subtropicais da Ásia e em alguns países da América Latina (LIESE, 1991; AMADA; UNTÃO, 2001; BERALDO; RIVERO, 2003; CHUNG e YU, 2002; LIMA Jr. *et al.*, 2005). A Colômbia, o Peru e o Equador são os países sul-americanos que mais empregam o bambu na construção, confirmando a sua potencialidade (LOPES *et al.*, 2002).

Apesar dos produtos feitos com bambu não serem aplicados em larga escala atualmente no país, possuem um grande potencial que certamente será explorado futuramente, isso pode ser observado pelos seus crescentes usos no mercado da construção civil, a tendência é que em pouco tempo sejam produzidos e utilizados em maior escala tornando seu custo acessível e tornando o projeto viável.

O bambu - material sem muito valor econômico, social ou cultural em nossa sociedade - é em outros países motivo de orgulho e pesquisas por seu potencial em diversas e comprovadas áreas de atuação. Material como o bambu não é poluente, não requer grande consumo de energia e oxigênio em seu processo de preparo; sua fonte é renovável e de baixo custo (RIPPER, 1994 apud MARÇAL, 2008).

O bambu pode ser classificado como a madeira do futuro, um dos pilares da sustentabilidade na construção civil e vetor de inserção social, por várias características.

Botanicamente o bambu é classificado como *Bambusae*, uma subfamília da *Gramineae*. É uma planta monocotiledônea e angiosperma, com espécies distribuídas naturalmente dos trópicos às regiões temperadas, sendo a maior ocorrência nas zonas quentes e com chuvas abundantes das regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e América do Sul (OLIVEIRA, 2006).

É uma espécie vegetal que possui cerca de 45 gêneros e 1.300 espécies diferentes, todas de origem asiática, sendo que no Brasil são encontrados 34 gêneros e 232 espécies, podendo ser nativas e exógenas (não nativas). As principais espécies existentes no país: *Bambusa vulgaris*; *Bambusa lako*; *Bambusa ventricosa*; *Phyllostachys áurea*; *Phyllostachys Moso*; *Phyllostachys nigra*; *Dendrocalamus asper*; *Dendrocalamus giganteus*; *Guadua*, no que se verifica certa dificuldade para identificação das espécies, sendo necessário o auxílio de um técnico capacitado na área.

A resistência à tração correspondente à do aço. Possui alta resistência de compressão transversal às fibras. É mais leve que a madeira, sendo utilizado como pilar, viga, caibro, ripa, telha, dreno, piso, revestimentos, e se tratado adequadamente, pode durar tanto quanto madeira de lei. Com altas taxas de crescimento, sequestra grandes quantidades de carbono tanto em sua parte aérea como no sistema rizomático, contribuindo para minimizar mudanças climáticas. Seus rizomas são preparados para emitir infinitas brotações e os cortes quando feitos em níveis adequados geram estímulos para novas brotações. Seu plantio gera empregos qualificados no campo, com manejo e colheita mais técnicos que o corte da cana, pois cada trabalhador acompanha a evolução do seu pedaço de bambuzal, do broto até a colheita de cada vara, evitando ainda o desmatamento de florestas nativas, aliviando a pressão sobre os ecossistemas ameaçados no Brasil (BAMBU CARBONO ZERO, 2016).

Naturalmente cresce mais do qualquer outro vegetal, nas espécies ditas gigantes, um broto pode chegar à altura de 30m no espaço de 3 a 6 meses, sendo que após seu corte não é necessário o replantio. Com uma superfície lisa, o material do caule facilita os processos de corte e subdivisão. Seu colmo possui células alinhadas no sentido axial e envolvidas por fibras de alta resistência a tração, por isso ele pode ser utilizado como reforço ao concreto, no qual a parte mais resistente dessa planta é a superficial. O grau de resistência mecânica depende da idade do colmo (BERALDO e PEREIRA, 2008).

Além disso, como o bambu cresce muito rápido e normalmente leva 3 a 6 anos para a colheita, dependendo da espécie e da plantação, há um interesse crescente a nível mundial no desenvolvimento de bambu como um substituto para a madeira para estruturas de construção. O uso efetivo de bambu estrutural irá atenuar as pressões sobre as florestas naturais cada vez menores nos países em desenvolvimento e, assim, facilitar a conservação do meio ambiente global (YU, CHUNG e CHAN, 2002).

É um material leve e flexível e por ter uma elevada relação resistência/peso tem sido muito utilizada para a substituição da madeira e do aço na construção civil.

Apesar do Brasil não possuir tradição construtiva com a utilização do bambu, a espécie mais propícia para construção, *Guadua angustifoli*, é nativa na nossa região (pantanal e regiões próximas: Bonito, Miranda, Aquidauana), foi exportada para a Costa Rica onde se iniciou o cultivo em larga escala, para sua utilização em construções de baixa renda. Atualmente Costa Rica é considerado o país mais desenvolvido na produção de habitação em bambu, atendendo a todos os pré-requisitos exigidos pela ONU na produção de habitação de baixo-custo (Folha de São Paulo, 1966), (CARDOSO Jr, 2000).

Segundo Pereira (2001) o bambu por tratar-se de uma planta tropical, perene, renovável e que produz colmos anualmente sem a necessidade de replantio, apresenta um grande potencial agrícola. Além de ser eficiente sequestrador de carbono, apresenta excelentes características físicas, químicas e mecânicas. Pode ser utilizado em reflorestamentos, na recomposição de matas ciliares, e também como um protetor e regenerador ambiental, bem como pode ser empregado em diversas aplicações ao natural ou após sofrer um adequado processamento.

Porém, o bambu ainda é pouco utilizado, quer seja pelo desconhecimento de suas espécies, de suas características e aplicações, quer seja devido a falta de pesquisas específicas e à ineficiente divulgação das informações disponíveis. No Brasil, o uso que se faz do bambu, excetuando-se a produção do papel, está restrito a algumas aplicações tradicionais, como artesanato, vara de pescar, fabricação de móveis, e na produção de brotos comestíveis. (PEREIRA, 2001).

O bambu é o recurso natural que se renova em menor intervalo de tempo, não havendo outra espécie florestal que possa competir com o bambu em velocidade de crescimento e de aproveitamento por área (JARAMILLO, 1992 apud PEREIRA e BERALDO (2016).

De acordo com OHKE (1989), especialista em tratamento de bambu para utilização do material em construção, há três pontos vulneráveis que comprometem o desempenho do bambu: o apodrecimento por fungos; o ataque de insetos e as rachaduras. BOURNE (1978) utilizou bambu tratado com enxofre aquecido a 112° C, envolvendo-o logo após com arame farpado e areia grossa, para ser aplicado dentro do concreto. Concluiu que o tratamento é de baixo custo. De acordo com KURIAN e KALAM (1977), quando utilizado em composição com o concreto, o bambu sofre dilatação pela facilidade de absorção de água do concreto, causando fissuras no mesmo. Logo após, sofre retração com a eliminação de água, destruindo a aderência com o concreto.

Com o intuito de verificar as características físicas e mecânicas do solo-cimento reforçado com bambu, Lopes (2002) confeccionou vigas de solo-cimento e vigas reforçadas com duas taliscas de bambu, de diferentes seções transversais submetidas a diferentes formas de carregamento. O autor concluiu após análises que os resultados não apresentaram diferenças significativas entre as resistências das vigas sem reforço e com reforço de bambu, e que o bambu evitou o colapso total da viga, mesmo após a ruptura da matriz de solo-cimento.

Marçal (2008) sugere a utilização de argamassas com menor teor de agregados e maior concentração de cimento, pois os agregados graúdos dificultam a introdução da argamassa pelo orifício aberto na vara, além do preenchimento não ser homogêneo.

O uso ainda bastante limitado do bambu na construção civil no Brasil fornece poucos dados para o estudo de sua viabilidade econômica como material de construção. Um estudo realizado por pesquisadores holandeses buscou comparar,

por meio de indicadores econômicos, estruturas feitas de bambu com outras concebidas com materiais de construção convencionais (madeira, aço e concreto).

Países que há tempos utilizam o bambu como elemento construtivo, ainda que de maneira tradicional/empírica, tais como China e Colômbia, vem se destacando nas pesquisas e conseqüentemente na elaboração de códigos de construção (obrigatoriedade de adoção) e normas (recomendações; adoção facultativa). Este fato, no entanto, origina documentos em sua maioria com validade local, contribuindo de maneira pouco significativa para a disseminação do bambu como material de construção em escala global (RADASKIEVICZ, 2016).

Comparando-se o custo de aquisição, o bambu demonstrou ser a alternativa de menor custo, porém sua vida útil e custos com mão de obra especializada escassa fizeram com que o aço fosse considerado ainda mais viável economicamente como material estrutural (RADASKIEVICZ, 2016). O bambu mostrou-se bastante competitivo quando comparado a madeiras utilizadas na construção (LUGT; DOBBELSTEEN; JANSSEN, 2005).

De acordo com a pesquisa de mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PPGEC, da UTFPR, “*Influência do Tipo de Ligação no Desempenho de Trelças de Bambu Mosô*”, o autor, Tiago Radaskievicz (2016), desenvolveu ensaios, em um total de cinco, nos quais se obtiveram resultados da resistência à compressão axial/módulo de elasticidade, peso próprio/teor de umidade, resistência à tração, resistência ao cisalhamento e resistência à flexão.

Estes resultados, orientados pelas normas ISO 22157-1/2004 e ISO 22157-2/2004, possibilitaram uma estimativa prévia para esta pesquisa, pois valores finais de ensaios do bambu a serem utilizados neste experimento foram estudados na sequência desta dissertação.

Por tratar-se de um material utilizado em seu estado natural, o bambu pode apresentar algumas variações nas suas propriedades físico-mecânicas decorrentes de fatores como: idade do colmo, presença/ausência de nó, região do colmo (base, meio ou topo). Oka *et al* (2014) concluíram que para a resistência à compressão a posição/altura no colmo é relevante, aumentando da base para o topo. No mesmo estudo, observa-se que para esta propriedade a presença/ausência de nó possui baixa significância.

Segundo DIXON e GIBSON (2014), embora classificada botanicamente como pertencente à família das gramíneas, o bambu apresenta algumas

propriedades físicas e mecânicas similares a algumas madeiras usualmente empregadas na construção civil com finalidade estrutural, conforme Tabela 1.

Tabela 1- Comparação de propriedades do bambu Mosô com madeiras brasileiras

Material	Resistência à compressão normal às fibras– σ_c(MPa)
Bambu Mosô(<i>Phyllostachys Pubescens</i>)	41
Eucalipto Saligna (<i>Eucalyptus saligna</i> Sm)	49,2
Angelim Pedra (<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke)	52,3
Itaúba (<i>Mezilaurus itauba</i>)	68,4

Fonte: adaptado de RADASKIEVICZ (2016)

Conforme Radaskievicz (2016), a orientação predominantemente longitudinal dos feixes fibrovasculares que compõe a camada intermediária da parede do colmo proporciona ao bambu elevada resistência à tração. A presença de um nó na região de estreitamento/ruptura, segundo ARCE (1993) e SHAO *et al* (2010), diminui a resistência à tração em cerca de 30%, quando comparada à região do internó, provavelmente devido à descontinuidade dos tecidos fibrovasculares ao cruzar o nó dos colmos.

O valor médio obtido para a máxima tensão de tração admissível foi de 146 MPa(RADASKIEVICZ, 2016). Esta elevada resistência à tração aliada ao relativamente baixo peso próprio faz com que alguns autores (Uddin, Hossain Saquib, Akinyele, Olutoge) atribuam ao bambu o título de “aço verde”. Segundo MAHZUZ (2013), quando comparado ao aço utilizado como armadura nas estruturas de concreto, a relação “R” - resistência/peso específico do aço é cerca de quatro vezes maior que do bambu Mosô (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação σ_T/γ bambuMosô e aço CA-50

Material	Resistência à tração, σ_T(MPa)	Peso específico, γ (kN/m³)	R (σ_T/γ), MPa/kg/m³
Bambu	146	5,73	25,61
Aço CA-50	500	78,7	6,35

Fonte: adaptado de RADASKIEVICZ (2016) e GERDAU(2012)

A resistência ao cisalhamento é uma importante propriedade dos colmos de bambu, uma vez que pode ser considerada seu ponto fraco (JANSSEN, 1981). A disposição paralela dos feixes de fibras, característica anatômica que confere aos colmos elevada resistência a solicitações axiais, é a mesma razão da baixa resistência ao cisalhamento, sendo que esta corresponde a cerca de 25% do valor da resistência à compressão longitudinal (YU, 2003).

Os valores obtidos para os corpos de prova com e sem nó, respectivamente, 9,7 e 10,4 MPa, corroboram a hipótese de SHAO *et al* (2010) que a única propriedade mecânica afetada pela presença de nós nos colmos é a resistência à tração. A resistência ao cisalhamento média (10 MPa) corresponde à 24,4% do valor da resistência à compressão, indo em direção ao exposto por YU (2003). Devido a esta baixa resistência, devem ser evitados carregamentos transversais à seção do colmo, bem como a utilização de ligações com pregos que tendem a afastar as fibras dando origem ao fendilhamento (FABIANI, 2014).

A estrutura tubular oca e segmentada, aliada a composição fibrovascular das paredes do colmo proporciona ao bambu grande resistência à flexão desde antes de sua colheita, quando ainda está sujeito aos esforços causados pelo vento, dada sua altura que no caso da espécie *Pyllostachys Pubescens* atinge cerca de 20 m (CAPELLO, 2006).

É interessante notar que o bambu foi classificado por Amada *et al.* (1997) como:

“um material compósito natural “inteligente” com distribuição otimizada de fibras e matrizes, tanto em seções transversais como ao longo do seu comprimento, resistindo à cargas ambientais nanatureza”.

Há inclusive um ditado popular que diz que o bambu se curva durante uma tempestade, demonstrando flexibilidade diante das adversidades, evitando assim sua ruína (RADASKIEVICZ, 2016).

Conforme Yu, Chung e Chan (2002), estruturas de bambu para andaimes têm sido amplamente utilizadas no Sudeste da Ásia, particularmente na China, há muitas décadas.

Apesar da concorrência aberta com muitos sistemas de andaimes metálicos importados de países de todo o mundo, o andaime de bambu continua a ser um dos sistemas preferenciais da construção civil em Hong Kong e áreas vizinhas.

As Figuras 2 e 3 indicam aplicações típicas de andaimes de bambu em Hong Kong, sendo andaimes de bambu em única camada (*Single Layered Bamboo Scaffolds - SLBS*) e andaimes de bambu em dupla camada (*Double Layered Bamboo Scaffolds -DLBS*), respectivamente. No entanto, por não existir projeto estrutural para tal e tendo como base a intuição em sua execução, as colunas de bambu encurvam-se, podendo levar ao insucesso o uso deste método construtivo.



Figura 2 - Andaim de Bambu em Única Camada - *Single Layered Bamboo Scaffolds (SLBS)*

Fonte: Yu, Chung e Chan (2002)



Figura 3 - Andaim de Bambu em Dupla Camada - *Double Layered Bamboo Scaffolds (DLBS)*

Fonte: Yu, Chung e Chan (2002)

As espécies estudadas por Yu, Chung e Chan em 2002, *Bambusa pervariabilis* ou KaoJue, e *Phyllostachys pubescens* (mossô) ou Mao Jue, possuem capacidades de compressão máximas de 60 kN e 100 kN, respectivamente.

Ambos, *Bambusa pervariabilis* e *Phyllostachys pubescens* (mossô), são comumente usados em andaimes em Hong Kong, e as dimensões típicas de ambos são apresentados na Figura 4.

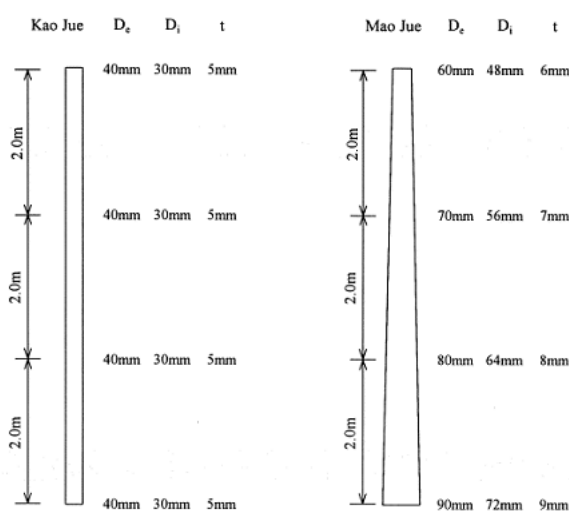


Figura 4 - As dimensões típicas de *Bambusa pervariabilis* ou KaoJue e *Phyllostachys pubescens* ou Mao Jue

Fonte: Yu, Chung e Chan (2002)

Assim como outros materiais utilizados na construção civil, o bambu necessita de proteção para garantir maior durabilidade, apresentando desta forma, extensão da vida útil, se convenientemente tratado.

Pela presença de amido em sua constituição, o bambu apresenta baixa durabilidade natural, atraindo fungos e insetos (organismos xilófagos), que se alimentam do amido depositado nas células parenquimatosas dos colmos maduros.

Enquanto o ataque por fungos pode ser prevenido por detalhes arquitetônicos e construtivos que mantêm o bambu seco, o ataque por insetos deve ser evitado através de técnicas, preferencialmente aplicáveis em escala industrial (ESPELHO & BERALDO, 2008).

Para prolongar sua vida útil, existem algumas técnicas naturais e artificiais, que devem ser adotadas para o tratamento antes de sua utilização: observação da idade do corte, devendo possuir no mínimo três anos para uso na construção civil; “cura” na mata, os colmos devem permanecer em posição vertical para facilitar a degradação do amido e da seiva presentes, aumentando a durabilidade; tratamento por imersão, podendo os colmos serem imersos em água ou em soluções preservativas. Em alguns casos podem-se utilizar colmos secos ao ar. Outros meios de tratamento são químicos, utilizando-se o ácido bórico, produtos prontos (como o BORAX) ou soluções preparadas na mesma base (SOUZA e BOURSCHEID, 2010).

A maior parte das espécies de bambu apresenta baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos e insetos), sendo o coleóptero *Dinoderus minutus* aquele que frequentemente ataca o colmo da planta. Deste modo, devem-se buscar técnicas que sejam facilmente aplicáveis e permitam aumentar a durabilidade dos colmos, tornando-os competitivos em relação aos materiais convencionais.

Em função disto, após os devidos cuidados durante a colheita, os colmos devem ser submetidos a tratamentos preservativos. Assim, a durabilidade dos colmos pode ser influenciada pelo tratamento empregado (BERALDO, 2003). Alguns tratamentos químicos podem ser efetuados utilizando um processo básico de substituição de seiva (capilaridade), sendo os métodos de imersão prolongada e o de Boucherie modificado, exemplos destes processos. Existem outros métodos de tratamento químico, tais como transpiração das folhas, aspersão ou pulverização, banho quente-frio com preservativo, autoclave e imersão.

O método de Boucherie modificado é outra forma popular de efetuar-se o tratamento preservativo do bambu. Nesse método, o preservativo é passado

sobpressão por meio dos vasos, até que saia na outra extremidade do colmo. Essa prática deve ser aplicada apenas ao bambu recém-cortado, dentro de vinte e quatro horas após a colheita (JANSSEN, 2000, apud TIBURTINO, 2015). Sua eficiência depende de uma série de fatores, tais como: espécie considerada, época de corte, idade, comprimento e teor de umidade do colmo, do tipo e da concentração da solução preservativa, da pressão utilizada (KUMAR *et al.*, 1994, apud ESPELHO, 2007).

Esse método consiste em introduzir o defensivo pela extremidade superior do bambu, por meio de pressão hidrostática do produto preservativo. É uma variante do método de substituição da seiva. Porém, tal método não se aplica a bambus que apresentem paredes de pequena espessura, pois, dependendo da pressão aplicada, pode ocorrer a explosão dos colmos (ESPELHO, 2007).

Luna, Lizarazo-Marriaga e Mariño (2016) afirmam que o tratamento por imersão com soluções de hidróxido de sódio, afeta notadamente a resistência à tração das fibras do bambu *Guadua angustifolia*. Apesar deste funcionar como limpador de superfície, também afeta a resistência à tração porque remove os constituintes hemicelulose e lignina, o que tem um efeito direto sobre a resistência da fibra. Os autores ainda estudaram um tratamento de decapagem de plasma seco, funcionando a baixa pressão e alta energia. Neste tratamento, a rugosidade da superfície da fibra pode ser aumentada devido ao bombardeamento de ions.

Os resultados mostraram que o tratamento de plasma não reduz a resistência à tração e resultados semelhantes foram encontrados para as fibras de juta tratadas por plasma de oxigênio, podendo aumentar a aderência entre o reforço e matrizes poliméricas diferentes. No entanto, a pesquisa busca empregar estes tratamentos no desenvolvimento de um material compósito polimérico para elementos não estruturais nos edifícios (LUNA, LIZARAZO-MARRIAGA e MARIÑO, 2016).

Segundo Danilo Candia (2014), pesquisador dessa planta desde o início da década de 90 e fundador da empresa “Bambu Carbono Zero”, a empresa tem como inspirador o arquiteto colombiano Simon Vélez, mundialmente conhecido pelo emprego do bambu em seus projetos e grande divulgador das técnicas de uso do material. Na Colômbia, as construções com bambu apresentaram melhor resistência a terremotos que as de concreto. Daquele país a empresa importou tratamentos químicos que avalizaram a durabilidade do bambu, como a autoclave e a imersão em octoborato. A garantia da empresa é de 15 anos. A resistência também

surpreende: o material tem uma força de tração similar a do aço, afirma Candia. Os arquitetos brasileiros gostam do bambu como aparência, mas duvidam dele como estrutura. No entanto com o tratamento em autoclave, aquele que passa pelo processo de tanalização (madeira preservada por pressão), isto é, pela incorporação de CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) um preservante solúvel em água, através de pressão (autoclave), o bambu dura o mesmo que um ipê, que segundo Lopez (1982), em ensaio de campo com estacas em contato com o solo, apresentou vida média de 8 a 9 anos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Ensaio de Compressão dos Blocos de Solo Cimento

A orientação da NBR 10834/1994 é direcionada ao recebimento de blocos vazados de solo-cimento comuns, destinados à execução de alvenaria sem função estrutural.

No escopo desta norma deverão ser consideradas as condições gerais do material, a saber: composição, dimensões, aspectos físicos. Além destas, condições específicas tais como resistência a compressão e absorção d'água, são as principais qualidades a serem aplicadas.

Na continuidade, a NBR 10836/2013, especifica as condições de aplicabilidade dos ensaios de resistência à compressão e absorção de água dos blocos de solo cimento sem função estrutural.

3.2 Ensaio do Bambu

Da mesma forma que os materiais de construção convencionais, o bambu apresenta uma série de aspectos favoráveis e outros limitantes, que devem ser conhecidos para que o mesmo seja empregado sob condições favoráveis ao seu melhor desempenho (BENAVIDES, 2012).

Pesquisadores de diversas partes do mundo como Widyowijatnoko, (2012) e Minke (2010), têm apontado estas características. Como aspectos favoráveis pode-se citar:

- geometria oca que confere aos colmos leveza, flexibilidade e capacidade de absorver energia, características que fazem do bambu um material ideal para construções sismo resistentes;

- composição da camada externa dos colmos com alta resistência à tração, importante para aplicações que solicitem o elemento estrutural à flexão (vigas);

- a disposição longitudinal bem como o comprimento das fibras confere ao bambu resistências à tração e compressão consideráveis quando comparado a materiais de construção convencionais;

- baixa relação “resistência a tração x peso específico”, sendo em média três vezes maior que o aço;

- baixo consumo de energia para produção/transformação, face aos índices de produção de concreto e aço, por exemplo;

- o tempo entre o plantio e o aproveitamento para construção varia entre três e cinco anos, bastante inferior à maioria das madeiras, não exigindo replantio por tratar-se de uma planta perene;

- uma obra onde se utiliza o bambu como material prioritário é uma construção limpa e seca, e sua mão de obra utiliza ferramental leve e de fácil operação.

Como fatores limitantes, as seguintes características podem ser notadas:

- variabilidade das propriedades mecânicas em função da espécie, da idade, do teor de umidade e parte do colmo utilizada;

- vulnerabilidade do material perante exposição aos raios ultravioletas e principalmente à água;

- sensibilidade ao ataque de organismos xilófagos, necessitando de tratamento antes da aplicação como elemento construtivo;

- desconhecimento generalizado das técnicas de construção e potencialidade do material, implicando em uma não valorização do mesmo por grande parte dos profissionais da construção civil;

- falta de normatização específica.

Para os ensaios com o bambu, as normas ISO/TR 22157/1/2004 e 22157/2/2004 devem ser seguidas, já que não existem normas específicas na serie NBR.

3.2.1 Umidade

As peças teste para a determinação do teor de umidade devem ser preparadas imediatamente após cada teste mecânico, em um número igual para os testes físicos e mecânicos. Cada peça deve ser moldada como um prisma, com aproximadamente 25 mm de largura por 25 mm de altura, e espessura igual a da parede do colmo.

Os corpos de prova devem ser tomados próximos ao local de falha no ensaio de compressão e armazenados em condições que assegurem o teor de umidade inalterado.

3.2.2 Compressão Paralela às Fibras

Com relação às idades de corte do bambu, Liese (1987) observou que as resistências à compressão e à tração são maiores nos seis primeiros anos, enquanto que amostras com idade superior a oito anos apresentam uma resistência mais elevada à flexão. Liese (1987) destacou a importância de se correlacionar a resistência mecânica do bambu com a anatomia.

As amostras de bambu devem ser retiradas da parte inferior, parte do meio e parte superior de cada colmo, devendo ser marcadas, indicando cada uma das partes.

Os testes de compressão paralelos ao eixo devem ser produzidos sem qualquer nó e o comprimento adotado igual ao dobro do diâmetro externo do colmo. Essas limitações são válidas no caso de testes para fins comerciais, sendo livre no caso de testes de pesquisa científica.

3.2.3 Flexão Simples Reta

Para o desenvolvimento dos ensaios iniciais com o bambu, utilizou-se como modelo os elementos que já foram testados, rompidos no interior dos corpos de prova das paredes, bem como peças de mesmo diâmetro e comprimento, de varas de bambu ainda não rompidas, do lote adquirido anteriormente.

Conforme já citado, foram previstos ensaios de compressão axial e módulo de elasticidade, peso específico e teor de umidade, tração, cisalhamento e flexão.

Nesta etapa da pesquisa procedeu-se somente o teste de flexão (tração na flexão).

O ensaio realizado contou com amostras de bambu de 58 cm de comprimento, já que as distâncias entre os apoios da prensa situam-se em 50 cm.

Foram rompidas quatro amostras, sendo duas utilizadas nos dois corpos de prova das paredes testadas e duas amostras previamente não ensaiadas. A amostra indicada na Figura 5 refere-se ao bambu preparado somente para este ensaio (CPB 1).

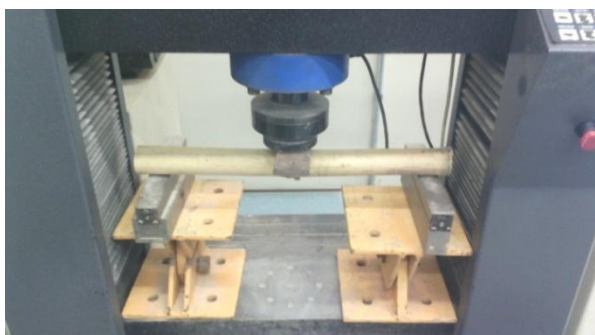


Figura 5 - Vara de bambu - CPB 1, posicionada na prensa (detalhe)
Fonte: Autoria própria (2016)

A amostra indicada na Figura 6 (CPB 2) refere-se ao corpo de prova de bambu retirado do interior de uma das paredes já rompidas.



Figura 6 - Vara de bambu - CPB 2, posicionada na prensa
Fonte: Autoria própria (2016)

Nos corpos de prova 1 e 3, sendo amostras sem aplicação de cargas prévias, a força máxima aplicada na prensa foi de 3,2 kN e 2,4 kN respectivamente. As cargas dos corpos de prova 2 e 4, de amostras já rompidas internamente às paredes, o valores decresceram dos primeiros resultados e apresentaram valores de 2,1 kN e 0,6 kN, conforme gráfico 1.

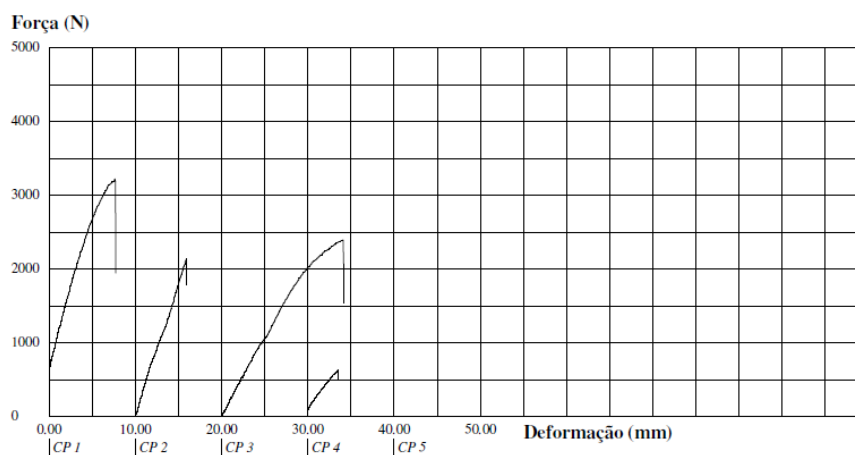


Gráfico 1 - Compressão/Deslocamento dos CP's de bambu
Fonte: Laboratório de Ensaio DACOC (2016)

Este ensaio levou em conta a tração na flexão, sendo importante a execução de novos corpos de prova com seções de bambu preparadas para a resistência à compressão. Os demais dados estão relacionados na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados dos ensaios com bambu

CORPO DE PROVA	FORÇA MÁXIMA (N)	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)
CPB 1	3223,36	7,55
CPB 2	2138,87	5,01
CPB 3	2399,95	5,62
CPB 4	642,66	1,51

Fonte: Laboratório de Ensaio DACOC (2016)

3.3 Ensaio das Paredes

As normas brasileiras, ABNT NBR 15961-1/2011 e 15961-2/2011, que tratam sobre Alvenaria estrutural — Blocos de concreto, Parte 1: Projeto e Parte 2: Execução e controle de obras, respectivamente, juntamente com suas referências indicadas, foram a base para início desta pesquisa. Para tijolos maciços de solo-cimento, a NBR 8491 – Especificações e a NBR 8492 – Determinação de resistência à compressão e da absorção de água, ambas de 1984, referenciam somente ensaios com os blocos, não indicando a junção de outros materiais como o indicado nesta pesquisa (bambu). O anexo “B” da NBR 15961-2 - Ensaio para a determinação da resistência à compressão de paredes, prescreve o método para determinação da resistência à compressão. Conforme mostra a Figura 7, a parede

ensaiada no pórtico de reação recebeu uma viga metálica de perfil “I” no topo de maneira a distribuir a carga uniformemente sobre a parede.



Figura 7 - Corpo de Prova Parede 1 (P 1)
Fonte: Autoria própria (2016)

Para a execução do ensaio à compressão foi utilizado o pórtico de reação disponível no laboratório de estruturas (Figura 8), com cilindro de carga máxima de 50 kN. Os blocos empregados na execução dos corpos de prova, nas dimensões de 25 x 12,5 x 6,25cm (Figuras 9 e 10), foram cedidos pela empresa ECO PRODUÇÃO – Tijolos Ecológicos, situada em Piraquara / PR. Os bambus (Figura 11) utilizados nos ensaios preliminares, para avaliar e acompanhar o comportamento das paredes, foram cedidos pela empresa SERRARIA RAKSA, situada em Campo Santana, Curitiba/PR, em parceria com a empresa ENVALMA, de Balsa Nova /PR, responsável pelo tratamento das varas em autoclave.



Figura 8 - Pórtico para ensaio de compressão
Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 9 - Detalhe do bloco de solo-cimento (inteiro) - vista lateral
Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 10 - Detalhe do bloco de solo-cimento (1/2 tijolo) - vista lateral
Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 11 - Detalhes das varas de bambu
Fonte: Autoria própria (2016)

Para o desenvolvimento dos ensaios preliminares, iniciou-se com a execução de dois corpos de prova, P1 e P2, com dimensões de 100 cm de largura por 80 cm de altura. Os blocos das paredes foram assentados com argamassa pronta, utilizando-se também dos furos/encaixes dos mesmos. Foram necessários vinte e oito blocos inteiros e oito “meio-blocos” de solo-cimento.

No primeiro corpo de prova (P1), as cavidades das extremidades das paredes foram completadas com uma vara de bambu na mesma altura do corpo de prova. Também com estas mesmas dimensões, os segmentos seguintes (cavidades) receberam o bambu como elemento estrutural (Figuras 12 e 13).



Figura 12 - Vista lateral da parede (P 1)
Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 13 - Vista superior da parede (P 1)
Fonte: Autoria própria (2016)

Nas Figuras 14 e 15, relativas ao P2, todas as cavidades da pequena parede foram preenchidas com pedaços de varas de bambu, preparados nas dimensões anteriores.



Figura 14 - Vista lateral da parede (P 2)
Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 15 - Vista superior da parede (P 2)
Fonte: Autoria própria (2016)

Ambos os corpos de provas necessitaram de uma base de concreto, previamente executada no laboratório denominado canteiro de obras, anexo ao laboratório de estruturas. Nos ensaios posteriores foram executadas vigas de base para as paredes, onde os bambus puderam ser posicionados e “ancorados” na mesma, simulando-se assim o baldrame nas construções reais (Figuras 16 e 17).



Figura 16 - Viga em concreto para assentamento sendo umedecida
Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 17 - Fiada inicial com blocos De solo-cimento (P 1)
Fonte: Autoria própria (2016)

As paredes prontas para o ensaio, com acabamento de argamassa de regularização (capeamento) na extremidade superior estão mostradas nas fotografias das Figuras 18 e 19.



Figura 18 - Vista lateral dos corpos de prova P 1 e P 2
Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 19 - Vista frontal do P 1 (primeiro plano)
Fonte: Autoria própria (2016)

A Figura 20 mostra os corpos de provas sendo colocados no pórtico de reação (prensa). Em primeiro plano vê-se a pequena parede carregada pela ponte rolante e mais ao fundo a primeira parede a ser ensaiada, já posicionada na prensa.



Figura 20 - Vista dos corpos de prova sendo colocados no pórtico

O primeiro ensaio ocorreu no dia 02 de junho de 2016, tendo como amostra o P 1. A carga inicial foi de 1 kN, tendo intervalos de mesmo valor. Os relógios digitais de deslocamento, marca Mitutoyo, com resolução de 12,7mm/0,5” e 0,01mm/0,005”, montados com um suporte para medição com base magnética (7010SN), também da marca Mitutoyo, foram posicionados no eixo central da parede e a 19cm da extremidade do corpo de prova, como demonstrado nas Figuras 21 e 22, indicando o local do vazio do bloco preenchido com uma das varas de bambu.



Figura 21–Transdutor digital de deslocamento posicionado próximo do eixo central
Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 22–Transdutor digital de deslocamento próximo da extremidade do P 1
Fonte: Autoria própria (2016)

Pode-se observar que ao ser aplicada carga de 8 kN, com um tempo de 5:45 min.(do início do ensaio - Figura 23), houve um estalo interno à parede, sinalizando que o bambu, internamente à uma das cavidades, forçou o bloco de solo-cimento.



Figura 23 - Instante do provável rompimento interno do bambu
Fonte: Acervo do autor (2016)

A partir deste ponto, continuou-se a aumentar a carga em 1 kN, quando ocorreu a primeira fissura em um dos blocos da quarta fiada de tijolos, posicionado à meia altura da parede, conforme Figura 24. A carga aplicada foi de 16 kN. As demais fissuras, na sequência, posicionaram-se verticalmente nos vazios dos blocos preenchidos com bambu, paralelos a extremidade do corpo de prova (Figura 25).



Figura 24 - P 1 Início das fissuras
 Fonte: Acervo do autor (2016)



Figura 25 - P 1 Fissuramento final
 Fonte: Acervo do autor (2016)

Ao atingir a carga de trabalho de 35 kN, a integridade da P1 foi comprometida, ou seja, os blocos não resistiram e iniciou-se a degradação do material externo (Figura 26).



Figura 26 - P 1 Rompimento final
 Fonte: Acervo do autor (2016)

Conforme a Figura 29, pode-se confirmar que a ruptura da P 1 alcançou a carga de 35 kN com um tempo de 18'45" do início do ensaio. A partir deste ponto a pequena parede ficou comprometida externamente. Mesmo ao continuar a aplicação de força na prensa, o material interno resistiu até a marca de 50 kN, carga máxima do cilindro utilizado no pórtico, e o restante do corpo de prova, juntamente com os bambus posicionados internamente, sofreram rompimentos diversificados (Figuras 27 e 28).



Figura 27 - P 1 - Bambu "rompido" no interior da P 1
 Fonte: Autoria própria (2016)



Figura 28 - P 1 - Detalhe do bambu na extremidade
 Fonte: Autoria própria (2016)

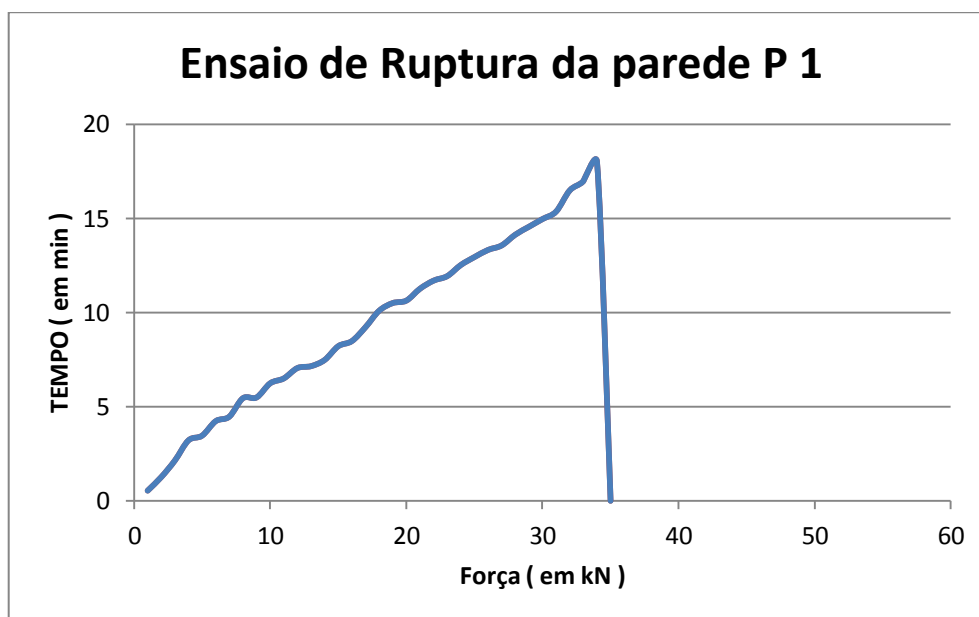


Figura 29 - Curva Ensaio de Ruptura P 1
Fonte: Autoria própria (2016)

Pode-se confirmar pela Tabela 4 que os valores obtidos no ensaio de ruptura, quando da aplicação da carga de 1 kN a cada intervalo de tempo em que a prensa acusou deformação na P1. Estes dados foram obtidos pelos relógios digitais medidores de deslocamento já citados anteriormente.

Tabela4–Carga aplicada x tempo – ensaio de ruptura P 1

FORÇA (kN)	TEMPO (min)	FORÇA (kN)	TEMPO (min)
1	0,54	19	10,5
2	1,26	20	10,63
3	2,14	21	11,26
4	3,21	22	11,69
5	3,46	23	11,93
6	4,23	24	12,52
7	4,47	25	12,94
8	5,45	26	13,32
9	5,49	27	13,56
10	6,24	28	14,13
11	6,5	29	14,55
12	7,05	30	14,96
13	7,15	31	15,36
14	7,48	32	16,48
15	8,21	33	16,97
16	8,48	34	18
17	9,22	35	0
18	10,09	Ruptura com carga de 35 kN aos 18 min.	

Fonte: Autoria própria (2016)

Na Figura 30, pode ser verificado o comportamento final das varas de bambu internamente à parede, após o término do ensaio.



Figura 30 - Detalhe da vara de bambu posicionada na P 1
Fonte: Autorial própria (2016)

O segundo ensaio ocorreu no dia 10 de junho de 2016 verificando-se a P2. Da mesma maneira que no primeiro corpo de prova, a carga inicial foi de 1kN com intervalos iguais subsequentes. Os relógios medidores de deslocamento, em número de três para este caso, foram posicionados no eixo central, na extremidade lateral da parede e acompanhando o posicionamento do bambu na cavidade adjacente ao eixo central, já que em todos os vazios dos blocos, neste P2, existiam varas de bambu preenchendo os espaços internos (Figuras 31 e 32).



Figura 31 - P 2 – Relógios digitais medidores de dados posicionados (detalhe)



Figura 32 - P 2
Fonte: Autorial própria (2016)

Ao finalizar o segundo ensaio com o corpo de prova número 2, em virtude de problemas verificados com o relógio medidor de dados no pórtico de compressão, não se pôde constatar a carga exata de rompimento da P2. Também não foi possível a verificação das cargas das fissuras nos blocos de solo-cimento, comprovando-se somente “visualmente”, conforme Figura 33. No entanto, como no primeiro ensaio, foi aplicada a carga máxima de 50 kN (valor máximo da prensa) e mesmo os blocos não tendo apresentado resistência (já verificado no primeiro corpo

de prova), as varas de bambu comportaram-se de maneira muito parecida com o observado na P1.



Figura 33 - Detalhe da vara de bambu no P 2, após rompimento
Fonte: Aatoria própria (2016)

4 RESULTADOS

Na continuidade da averiguação da união destes materiais, blocos de solo-cimento e bambu, foram preparados nove corpos de prova, como o objetivo de padronizar os ensaios. Vale frisar que os ensaios preliminares foram feitos com o objetivo de avaliar o comportamento das paredes e definir possíveis ajustes.

Os ensaios padronizados foram executados com nove corpos de prova (paredes) de blocos de solo-cimento/bambu, sendo três estruturados totalmente, três estruturados parcialmente e os últimos sem estrutura de bambu, obtendo-se assim resultados quanto à resistência à compressão axial.

Com relação ao elemento de vedação, o bloco de solo-cimento ou comumente chamado de tijolo ecológico, em conformidade com as normas NBR 8491/2002 e 8492/2002 já citadas anteriormente, devem apresentar valores de resistência a compressão de 2 MPa na média e 1,7 MPa, individualmente.

Com os ensaios realizados esperou-se obter uma solução técnica para a união destes dois materiais (bambu e blocos ecológicos) para comprovar se existem vantagens estruturais na composição deste modelo de alvenaria, possibilitando uma padronização e uma forma mais sustentável de construir.

Isto poderá levar o uso do bambu como elemento estrutural a um patamar semelhante ao da madeira, consolidando-o como um material ecológico, econômico e eficiente.

4.1 Blocos de Solo-Cimento

De acordo com Sussekind (1981), uma estrutura pode ser definida como um sistema composto de um ou mais elementos estruturais, ligados entre si e ao meio exterior, formando um conjunto estável, capaz de receber cargas externas, absorvê-las internamente e transmiti-las até os apoios, onde encontrarão seu sistema DE equilíbrio.

Para que se faça uma análise estrutural de um processo construtivo qualquer, devem-se determinar os esforços externos que agem sobre os elementos estruturais que compõe a estrutura, bem como os esforços internos, resultantes destes. A geometria dos elementos, sua deformação e estabilidade dependem não somente dos esforços, mas também do material do qual são constituídos. Assim, é preciso compreender o comportamento do material sob a ação de diversos tipos de esforços (compressão, tração, flexão, cisalhamento, torção, etc.), bem como os fatores que influenciam este comportamento (HIBBELER, 2010).

4.1.1 Umidade

Para a execução do ensaio de umidade dos blocos de solo cimento foram coletadas amostras na quantidade de trinta unidades, triplicando o valor indicado na normatização, assim como executado no ensaio de compressão.

As peças foram preparadas inicialmente secando-se em estufa elétrica a uma temperatura de 110°C, obtendo-se desta forma a massa seca M_1 , em gramas, com medições de hora em hora, até constância de massa.

Após a obtenção de M_1 , os blocos foram colocados em imersão por vinte e quatro horas em água limpa, em temperatura ambiente.

Para a determinação da massa saturada M_2 , em g., os corpos de prova foram retirados da imersão, secos com um pano úmido e novamente pesados antes de decorridos três minutos. A absorção média dos corpos de prova, que de acordo com a NBR 10836/2013, deve apresentar a média dos valores de absorção de água igual ou menor a 20% e valores individuais iguais ou menores a 22%, aos 28 dias de idade, foi obtida pela média dos valores individuais.

A Tabela 5 mostra os valores de M_1 , M_2 e a porcentagem de absorção de água para os blocos ensaiados.

Tabela 5 – Porcentagem de umidade dos blocos de solo-cimento

BLOCOS	M1 - MASSA SECA (kg)	M2 - MASSA UMIDA (kg)	%
1	1453,43	1.694,11	16,56
2	1452,89	1.698,19	16,88
3	1376,51	1.633,58	18,68
4	1453,60	1.691,54	16,37
5	1476,71	1.713,45	16,03
6	1421,06	1.671,37	17,61
7	1478,65	1.728,71	16,91
8	1472,46	1.716,47	16,57
9	1469,40	1.715,60	16,76
10	1446,45	1.694,65	17,16
11	1453,63	1.705,25	17,31
12	1448,79	1.700,20	17,35
13	2883,10	3.430,00	18,97
14	2967,13	3.464,00	16,75
15	2959,37	3.462,00	16,98
16	2935,67	3.446,00	17,38
17	2915,88	3.440,00	17,97
18	2908,33	3.390,00	16,56
19	2894,36	3.454,00	19,34
20	2913,74	3.436,00	17,92
21	3205,23	3.494,00	9,00
22	3154,11	3.454,00	9,51
23	3187,03	3.478,00	9,13
24	3099,57	3.414,00	10,14
25	3074,58	3.362,00	9,35
26	3279,08	3.566,00	8,75
27	3176,46	3.496,00	10,06
28	3112,03	3.464,00	11,31
29	3113,28	3.400,00	9,21
30	3272,07	3.584,00	9,53
MÉDIA			14,74
DESVIO PADRÃO			3,72

Fonte: Autoria própria (2017)

O resultado deste ensaio mostrou que os blocos estudados apresentaram porcentagem de absorção de água, em média, de 14,74%, o que comprova a exigência da NBR 10836/2013.

4.1.2 Compressão dos blocos de solo cimento

De acordo com a norma NBR 10836/2013, para o ensaio de compressão dos blocos de solo-cimento foram coletados para a amostragem, trinta corpos de prova (corpo de prova de bloco de solo-cimento - CPSC), com idade superior a sete dias, sem fissuras, fraturas ou outro defeito que pudesse prejudicar o ensaio. Ainda

conforme a NBR 1036/2013, se o fornecimento de material é de até 10.000 blocos, a amostra representativa mínima deveria ser de dez blocos.

A amostra a ser ensaiada, segundo normatização, deve apresentar a média dos valores de resistência à compressão igual ou superior a 2,0 MPa e valores individuais iguais ou maiores que 1,7 MPa, aos 28 dias de idade.

O capeamento das faces de trabalho dos blocos foi executado com pasta de cimento Portland de consistência plástica, traço 1:1, cimento e areia, e espessura mínima necessária para que se obtivessem faces planas e paralelas (Figuras 34 a 37).

A resistência à compressão da argamassa utilizada no capeamento foi superior à prevista para o bloco ensaiado.



Figura 34 – Materiais para capeamento
Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 35 - Bloco de solo-cimento capeado em uma face
Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 36 – Detalhe da bancada de trabalho com blocos de solo-cimento capeados
Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 37 – Vista dos blocos de solo-cimento em processo de cura do capeamento
Fonte: Autoria própria (2017)

Após o capeamento, os CPSC's foram então colocados em imersão em água limpa por vinte e quatro horas e retirados somente no momento do ensaio. Esta condição deve-se ao fato de que os blocos poderão estar submetidos a uma situação de extremo rigor, como por exemplo, umidade permanente.

Para que se obtivesse o resultado da tensão de ruptura dos blocos de solo-cimento σ , utilizou-se a seguinte equação:

$$\sigma = F/A$$

Sendo:

F a força aplicada no momento da ruptura do corpo de prova, em N;

A a área da seção transversal, descontados os vazios, em m^2 .

A área dos blocos foi calculada em relação à sua face plana maior, aonde se situam os dois furos de 10 cm de diâmetro, vazios estes descontados neste cálculo.

A carga da prensa foi aplicada verticalmente a esta face, paralelamente aos eixos dos furos, conforme Figura38.



Figura 38 – Ensaio de compressão dos blocos de solo-cimento
Fonte: A autoria própria (2017)

O universo representativo de peças ensaiadas foi de dezenove blocos, correspondendo a praticamente 2/3 do total de amostras preparadas, conforme gráfico 4.

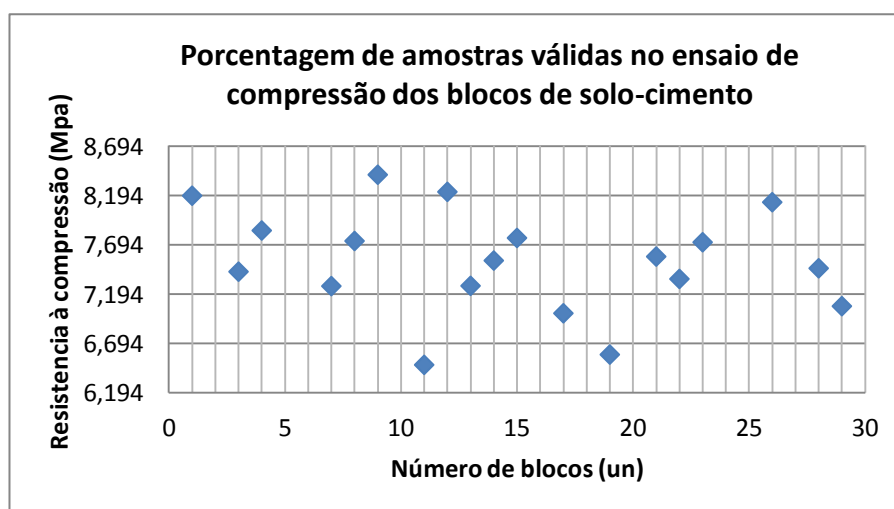


Gráfico 4 - Amostras válidas para o ensaio de compressão
Fonte: A autoria própria (2017)

O resultado médio obtido foi de 7,45 MPa, muito superior aos valores indicados na NBR 1036/2013.

Mesmo que o resultado do bloco número 20 tenha correspondido ao menor de todos os valores, igual a 5,19 MPa, ainda assim atende ao recomendado pela NBR 1036/2013 (tabela 6), que é de 2,0 MPa.

Tabela6 – Valores da Resistência à compressão dos CPB's ensaiados.

CP	A (mm ²)	FORÇA (N)	σ (MPa)
1	15542,0367	127341,02	8,1933
2	15542,0367	91001,45	5,8552
3	15542,0367	115382,65	7,4239
4	15542,0367	121864,43	7,8410
5	15542,0367	148457,06	9,5520
6	15542,0367	145635,58	9,3704
7	15542,0367	113108,83	7,2776
8	15542,0367	120214,52	7,7348
9	15542,0367	130647,77	8,4061
10	15542,0367	150460,53	9,6809
11	15542,0367	100706,78	6,4796
12	15542,0367	127951,06	8,2326
13	15542,0367	113150,42	7,2803
14	15542,0367	117129,61	7,5363
15	15542,0367	120692,86	7,7656
16	15542,0367	147015,13	9,4592
17	15542,0367	108824,61	7,0020
18	15542,0367	135874,78	8,7424
19	15542,0367	102322,03	6,5836
20	15542,0367	80595,93	5,1857
21	15542,0367	117760,45	7,5769
22	15542,0367	114238,8	7,3503
23	15542,0367	120013,48	7,7219
24	15542,0367	94973,7	6,1108
25	15542,0367	83583,79	5,3779
26	15542,0367	126321,95	8,1278
27	15542,0367	83985,87	5,4038
28	15542,0367	115916,44	7,4583
29	15542,0367	109947,66	7,0742
30	15542,0367	86231,96	5,5483
MEDIA			7,4451
DESVIO PADRAO			1,2515

Fonte: Autoria própria (2017)

4.2 Bambu

Foram realizados ensaios para a determinação de propriedades físicas e mecânicas de peças de bambu cana-da-índia (*Phyllostachys Aurea*), ou bambu mirim. Esta espécie é originária da China, possuindo altura de até dez metros. Seus usos mais indicados são: móveis, artesanato e varas de pescar, podendo ser utilizados como cercas vivas. Como toleram geadas de até 15°C negativos, adaptou-se bem às condições climáticas do sul do Brasil. Seus brotos são comestíveis, apresentando coloração verde claro. Apresenta colmos retilíneos e diâmetros usuais entre 4 e 6 cm. Os diâmetros encontrados nesta espécie foram o indicador para a pesquisa, em virtude de que os furos dos blocos de solo-cimento possuem diâmetro de 10 cm.

Os ensaios realizados permitiram a obtenção da resistência à compressão axial, teor de umidade e resistência à tração no modo flexão.

O rompimento das amostras foi realizado em uma prensa EMIC, modelo DL 20000, monitorada pelo software aquisitor de dados TESC, versão 3.04.

Todos os exemplares de bambu cana-da-índia utilizados na composição dos corpos de prova são provenientes de uma fazenda localizada no município de Wenceslau Braz-PR e tratados pelo método de imersão.

4.2.1 Umidade

- Peso próprio e teor de umidade

Para a execução do ensaio de umidade dos bambus foram extraídas amostras com dimensões 25x25mm e espessura igual à da parede do colmo. Obteve-se o valor médio das espessuras na ordem de 4,4mm.

As amostras foram retiradas próximas ao local da falha e armazenadas em condições ideais conforme prescrito na norma, garantindo assim o teor de umidade inalterado (Figura 39).



Figura 39 – Amostras de bambu preparadas para o ensaio de umidade
Fonte: Autoria própria (2017)

O número de amostras correspondeu à quantidade de corpos de prova utilizados no ensaio de compressão, determinado pela norma ISO. As peças, em um total de quarenta e oito, foram preparadas imediatamente após o teste mecânico, e permaneceram em um frasco de vidro estanque e seco, antes da pesagem e da secagem, garantindo assim a retenção da umidade nas peças do teste (Figura 42).



Figura 40 – Amostras de bambu preparadas para a secagem em estufa
Fonte: Autorial própria (2017)

As massas foram medidas em balança digital com precisão de 0,01 g. Após este procedimento foram secas em forno com temperatura de 103°C, por vinte e quatro horas (Figura 41).



Figura 43 – Detalhe da estufa com as amostras de bambu
Fonte: Autorial própria (2017)

Passadas as vinte e quatro horas procedeu-se novamente a pesagem das peças.

Assim obteve-se o teor de umidade conforme equação (1) e o peso próprio através da equação (2).

$$h = \frac{m - m_0}{m_0} * 100 \quad (1)$$

Sendo:

- h é o teor de umidade, em %;
- m é a massa antes do processo de secagem, em g;
- m_0 é a massa após do processo de secagem, em g.

$$\rho = m/V * 10^6 \quad (2)$$

Sendo:

- ρ é o peso próprio, ou densidade, em kg/m³;
- m é a massa, em g, após o processo de secagem;
- V é o volume da amostra, em mm³.

O peso próprio obtido foi de 723,64 kg/m³ e o teor de umidade médio foi de 11,06%, bastante próximo ao valor de 12% que segundo LOGSDON e CALIL JUNIOR (2002) e NBR 7190/1997, é o teor de umidade de referência para o qual devem ser reportados os resultados de ensaios com madeiras.

4.2.2 Compressão Paralela às Fibras

Para o ensaio de compressão do bambu, baseando-se nas normas ISO/TR 22157/1/2004 e 22157/2/2004, foram confeccionados quarenta e oito corpos de prova de bambu (CPB), sendo quatro de cada região do colmo, todos provenientes da região de internós, região esta que compreende a distancia do segmento do colmo entre seus dois nós. Os nós são compostos por um diafragma que isola o internó anterior do próximo (subsequente).

Conforme a normatização, o número de corpos de prova deve ser de doze, pois o objetivo dos testes é prever uma propriedade para toda a população, com testes em apenas uma amostra. Quanto mais exemplares são retirados da amostra, mais confiável é a previsão, mas também é mais dispendioso o teste. Existe uma melhor distribuição da amostragem quando o número mínimo de peças de teste é de doze unidades.

De cada vara de bambu foram retirados corpos de provas originários da base, do meio e do topo, identificados como mostra a Figura 42.



**Figura 42 - Corpos de prova de bambu prontos para o ensaio de compressão (CPB)
Fonte: A autoria própria (2017)**

A altura de cada corpo de prova foi determinada de acordo com os critérios da ISO 22157-2, a qual preconiza que o diâmetro deve ser igual ao diâmetro externo da vara de bambu, ou no mínimo de duas vezes o diâmetro externo. Ainda segundo a norma ISO, essas limitações são válidas no caso de testes para fins comerciais. Se os testes destinarem-se à pesquisa científica, esta recomendação passa a ser livre. No intuito de padronizar os CP's, todas as unidades foram produzidas com altura de 12cm, igual ao triplo do diâmetro externo.

Mesmo com a indicação da norma de que os CP's devem ser retirados da região comentada anteriormente, sem a presença de nós, foram executados outros quinze corpos de prova, também com altura de doze centímetros, com a finalidade de comparar com os resultados prévios.

Estes exemplares também foram identificados segundo sua posição no colmo (Figura 43).



Figura 43 - Corpos de prova de bambu com nós, prontos para o ensaio de compressão (CPB)
Fonte: Autoria própria (2017)

Verificou-se que com a presença dos nós, a resistência à compressão obteve um aumento em torno de 25%. A norma ISO também sinaliza que não há diferença significativa entre os resultados do teste na compressão do bambu com nós e nos internós, significando que há uma pequena diferença, mas isso é menor do que o desvio padrão. No entanto, em algumas espécies, pode ser encontrada uma diferença se a camada de medula tiver sido removida nos nós.

A área da seção transversal de cada bambu foi obtida conforme a equação (3).

$$A = \frac{\pi}{4} * [D^2 - (D - 2t)^2] \quad (3)$$

Sendo:

- D é o diâmetro externo do bambu, em mm, resultante da média de duas medidas diametralmente opostas;

- t é a espessura da parede do colmo, em mm, resultante da média de quatro medidas tomadas nos pontos de obtenção do diâmetro.

Para diminuir a interferência do atrito nos resultados do ensaio da resistência à compressão, foram utilizadas chapas de *teflon* (politetrafluoretileno – PTFE) com espessura de 2 mm, entre o corpo de prova e a prensa, em ambos os lados, conforme Figura 44.

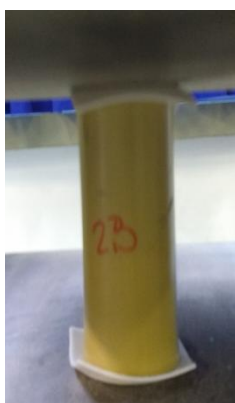


Figura 44 - Corpo de prova de bambu com *teflon* nas extremidades
Fonte: Autoria própria (2017)

Os deslocamentos e o carregamento foram registrados desde o início da aplicação de carga até seu rompimento. A carga aplicada no momento da ruptura do corpo de prova foi utilizada para obtenção da máxima tensão de compressão admissível, conforme equação (4).

$$\sigma_C = \frac{F_{ult}}{A} \quad (4)$$

Sendo:

σ_C é a máxima tensão de compressão admissível, em MPa;

F_{ult} é a carga aplicada no momento da ruptura do corpo de prova, em N;

A é a área da seção transversal, em mm².

O resultado médio obtido no ensaio com os corpos de prova de bambu sem os nós foi de 96,21 MPa. Nos corpos de prova onde existiam nós na sua seção central, o valor médio da resistência à compressão foi de 119,09 MPa, superior ao valor obtido nos cp's sem os nós, resultando em um aumento percentual em torno de 20%.

Observou-se que pela média de resistência à compressão de cada região dos colmos das áreas dos internós, o menor valor encontrado foi na região central das barras, confirmando que a base e o topo do bambu são elementos próprios à utilização onde se necessita de resistência.

Fazendo-se a mesma análise nos corpos de prova com os nós posicionados no centro da peça, o melhor resultado confirmou-se no topo das barras, onde o bambu precisa de resistência desde sua condição natural (Tabela 7).

Tabela 7 – Valores da Resistência à compressão dos CPB's com os nós.

	Sem nós σ MPa	Com nós σ MPa
BASE	95,34	108,23
MEIO	93,42	121,61
PONTA	99,87	127,43

Fonte: Autoria própria

Pode-se afirmar que as maiores resistências são diretamente proporcionais aos maiores diâmetros, analisando os resultados obtidos nos ensaios com as quatro barras sem nós estudadas. Foram considerados, para fins de cálculo, os diâmetros médios dos colmos de bambu (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores da Resistência à compressão dos CPB's sem os nós relativos a cada barra ensaiada.

BARRAS	σ MPa	\varnothing médio mm
1	106,74	41,65
2	90,36	38,90
3	90,31	39,65
4	97,45	41,18

Fonte: Autoria própria

Com o cálculo das resistências relacionadas às barras e também a cada região da mesma (base, meio e ponta), pode-se concluir que os menores diâmetros médios situam-se no meio dos colmos, proporcionais às menores resistências à compressão (Tabela 9).

Tabela9 – Valores da Resistência à compressão dos CPB's sem os nós relativos a cada barra ensaiada e sua região de amostra.

BARRAS		σ MPa	Ø médio mm
1	BASE	111,51	43,00
	MEIO	98,89	44,63
	PONTA	109,81	37,31
2	BASE	89,78	40,53
	MEIO	84,74	39,56
	PONTA	96,55	36,60
3	BASE	84,62	42,99
	MEIO	80,20	39,33
	PONTA	106,12	36,65
4	BASE	95,47	42,09
	MEIO	109,86	41,81
	PONTA	87,01	39,63

Fonte: Autoria própria

4.2.3 Resistência à tração na Flexão

A integridade de uma estrutura depende diretamente da resistência das ligações entre os elementos que a constituem. Desta forma, até mesmo um material com propriedades mecânicas promissoras, como o bambu, pode ser subutilizado na ausência de um sistema que possibilite a correta transmissão dos esforços atuantes na estrutura (SOARES, 2013).

Na determinação do ensaio à flexão, a ISO 22157-1/2004 estabelece procedimentos para obtenção de tal resistência através de um ensaio de flexão a quatro pontos.

Desta forma, faz-se necessário conhecer a resistência à flexão dos colmos inteiros, uma vez que a aplicação de carga geralmente se dá desta maneira.

Os colmos foram posicionados em cima e embaixo dos apoios côncavos fabricados em madeira (“berços”), de modo a adequar sua geometria cilíndrica. Os corpos de prova foram então carregados até a ruptura.

Para a distribuição das peças de bambu, berços de madeira para apoios, viga de distribuição de carga da prensa e posicionamento da aplicação da carga, a orientação segue a figura esquemática 45.

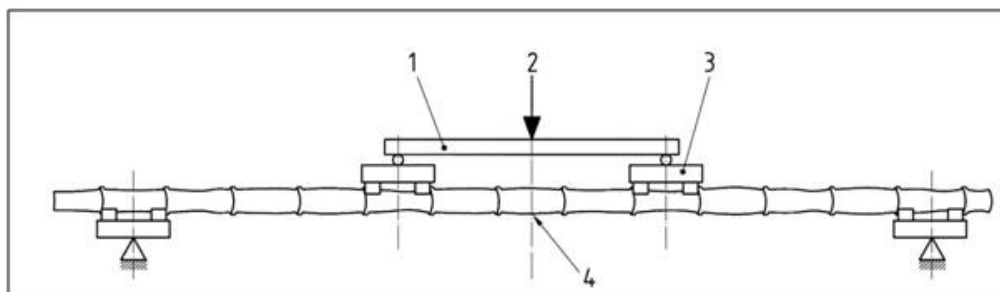


Figura 45 – Figura esquemática do posicionamento do colmo de bambu para o ensaio à flexão

Sendo:

- 1 - viga em madeira para distribuição da carga da prensa
- 2 - carga da prensa aplicada ao colmo
- 3 - apoios de madeira para o colmo de conformação circular (tipo “berço”)
- 4 - eixo do colmo de bambu para medição de deslocamento

A amostragem para a determinação deste ensaio é de doze corpos de prova, sem defeitos visualmente aparentes e com um vão livre mínimo, de modo a ser evitada falha por esforços transversais. Se o vão for curto demais o colmo se comportaria como um arco, ocultando assim o real valor da resistência à flexão do mesmo (VAESSEN e JANSSEN, 1997, apud RADASKIEVICZ, 2016).

O vão livre adotado para este ensaio foi de 120cm, conforme prescreve a norma ISO 22157-1/2004, onde a extensão livre deve ser de pelo menos trinta vezes o diâmetro externo do colmo. Foram utilizadas varas de bambu com 3m de comprimento total. Os diâmetros variaram entre 2,80 cm, medido na ponta da vara, até 4,57 cm, relativos à base.

Os apoios em forma de “berço” côncavos (Figura 46) foram posicionados distantes do eixo central de 60 cm em ambos os lados, adequando a geometria cilíndrica do bambu. A distância do segundo apoio, posicionado na extremidade do bambu, foi de 90 cm a partir do primeiro apoio.



Figura 46 – Apoio com seção circular tipo “berço” utilizado no ensaio de flexão
Fonte: Autoria própria (2017)

As Figuras 47 e 48 apontam as amostras de bambu sendo carregadas pela prensa, no momento do ensaio à flexão.



Figura 47 – Colmo de bambu posicionado na prensa durante o ensaio à flexão.
Fonte: Autoria própria (2017)



Figura 48 - Colmo de bambu posicionado na prensa durante o ensaio à flexão (vista lateral).
Fonte: Autoria própria (2017)

O rompimento dos colmos ocorreu após grandes deslocamentos verticais devidos à flexão, o que pode ser explicado, em parte, pela composição da parede dos colmos, ou seja, a camada mais externa, com maior concentração de fibras, suporta os esforços de tração, enquanto a camada interna mais macia, com menor concentração de fibras e maior presença de parênquima, permite grande deformação por compressão (OBATAYA, KITIN e YAMAUCHI, 2007, *apud* RADASKIEVICZ, 2016). Observou-se que o colapso ocorreu pela separação longitudinal das fibras (cisalhamento) (Figura 49).



Figura 49 – Colmo de bambu após a ruptura
Fonte: Autoria própria (2017)

SHARMA *et al* (2015), reforça a necessidade de pesquisas adicionais para compreensão do modo de ruptura do bambu à flexão, em particular a respeito da influência da resistência ao cisalhamento (apud RADASKIEVICZ, 2016).

A máxima tensão normal devida à flexão foi então obtida por meio da seguinte equação (5):

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (5)$$

Sendo:

M o máximo momento fletor, em N*mm.

W o módulo de resistência, em mm³.

Para os doze corpos de prova ensaiados, a resistência média à tração no modo flexão obtida foi de 150,95 MPa.

O maior valor de resistência a flexão foi observado no corpo de prova de número 4, de 255,36 MPa, e o menor valor válido obtido foi de 113 MPa, na barra de número 8. A barra indicada pelo número 7 mostrou um resultado de 35,96 MPa, muito abaixo das demais barras avaliadas, devido ao fato de que a força aplicada de 291,21 N ter rompido o corpo de prova (Tabela 10). Para o cálculo da média e desvio padrão, foram desconsiderados os valores extremos (CP 4 e CP 7).

As barras romperam-se após a aplicação da carga máxima da prensa, em distâncias entre 84 cm a 89 cm, das extremidades aos apoios, independentemente de situarem-se próximos ao topo ou base dos colmos. Do total de corpos de prova, apenas cinco romperam próximos à base do colmo, podendo indicar que nestas peças, a região dos internós possuía igual resistência à área do topo.

Tabela10 – Valores da Resistência à flexão dos CPB's (sem nós).

CP	F (N)	RAIO MÉDIO (mm)	I (mm ⁴)	L ₁ (mm)	M (N x mm)	W (mm ³)	σ (MPa)
1	1305,41	20,00	68848,41	900	587434,50	3442,42	170,65
2	1235,12	19,31	63776,00	900	555804,00	3302,32	168,31
3	1144,75	18,38	55999,55	900	515137,50	3047,59	169,03
4	1606,66	17,08	48343,32	900	722997,00	2831,23	255,36
5	1094,54	19,91	70544,14	900	492543,00	3542,71	139,03
6	1174,87	18,20	49499,76	900	528691,50	2719,77	194,39

CP	F (N)	RAIO MÉDIO (mm)	I (mm ⁴)	L ₁ (mm)	M (N x mm)	W (mm ³)	σ (MPa)
7	291,21	17,68	64404,30	900	131044,50	3643,81	35,96
8	1034,29	18,98	78152,00	900	465430,50	4118,68	113,00
9	883,66	16,18	40143,36	900	397647,00	2481,82	160,22
10	1134,70	18,90	62533,77	900	510615,00	3308,66	154,33
11	863,58	18,74	58748,01	900	388611,00	3135,32	123,95
12	923,83	18,68	61048,61	900	415723,50	3269,00	127,17
MÉDIA							152,01
DESVIO PADRÃO							13,68

Fonte: Autoria própria

4.3 Paredes

Inicialmente é importante conceituar que paredes de alvenaria de blocos de solo-cimento e bambu são os corpos de prova produzidos com a metade do pé direito de uma parede ou com no máximo de altura que o equipamento utilizado (prensa) possa suportar.

Os blocos empregados na execução dos corpos de prova, nas dimensões de 25cm x 12,5cm x 6,25cm, foram adquiridos na empresa ECO PRODUÇÃO - Tijolos Ecológicos, situada em Piraquara / PR. Os bambus utilizados nesta etapa dos ensaios, foram adquiridos da empresa INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PALITOS BAMBUSHOW, situada no município de Wenceslau Braz/PR, tratados pelo método de imersão.

Todos os corpos de prova (paredes) foram executados por um mesmo profissional, com experiência em alvenaria estrutural de blocos de solo-cimento, de modo a minimizar esta variável no desempenho dos ensaios. O profissional que executou as paredes foi o mesmo que moldou as vigas de baldrame em concreto armado utilizadas nas bases de assentamento destas. Foi adotado argamassamento por meio de filetes nos assentamentos dos blocos, executados com auxílio de um saco de couro com bico de furo circular. O capeamento foi executado na sequência do levantamento das paredes.

O ensaio de determinação da resistência à compressão das paredes foi realizado nos dias 22 e 23 de maio de 2017, no laboratório de estruturas pertencente ao DACOC. O pórtico de reação utilizado no laboratório de estruturas, possui cilindro de carga máxima de 50 kN.

A carga inicial aplicada foi de 1 kN e os relógios digitais medidores de deslocamentos, marca Mitutoyo, com resolução de 12,7mm/0,5" e 0,01mm/0,005" e montados com um suporte para medição com base magnética (7010SN), também da marca Mitutoyo, foram posicionados a 15 cm, equidistantes do eixo central da parede, verificando-se assim o comportamento de deslocamentos próximos aos posicionamentos dos bambus no interior dos furos dos blocos, onde existiam. Nas paredes em que não foram colocados peças de bambu, a referencia dos relógios digitais foi a mesma.

Após a cura das vigas de base e feita a desforma, procedeu-se o levantamento da alvenaria, utilizando-se nível de bolha, prumo e esquadro, de modo a assegurar que as fiadas de blocos, assentados com as juntas desencontradas, tenham a garantia de uma maior resistência e estabilidade dos painéis.

Conforme recomendações da NBR 15961-2, o corpo de prova foi construído com largura igual a quatro blocos, totalizando 1,0 m, e altura igual a sete blocos (aproximadamente 45 cm), acrescido de uma viga de concreto para apoio da estrutura do corpo de prova com 15 cm de altura, fazendo o papel de uma viga de baldrame. Verificam-se na Figura 50, as formas e o concreto das vigas de apoio (baldrame).



Figura 50: Detalhe das vigas de apoio para as paredes (baldrame)
Fonte: Autoria própria

Ao todo, considerando a altura da viga de base, a parede propriamente dita, a viga metálica para distribuição de carga à parede e a célula de carga da prensa, a altura total foi de 88 cm, conforme Figura 51.



Figura 51: Detalhe de um CP posicionado para o ensaio à compressão
Fonte: Autoria própria

O primeiro corpo de prova tipo foi produzido sem nenhuma peça de bambu posicionada em seus furos, para que pudesse ser avaliada a resistência neste tipo de parede, em um total de três unidades (CP1, CP2 e CP3) (Figura 52).



Figura 52 – Corpo de prova, CP 1, sem estrutura de bambu
Fonte: Autoria própria

O segundo corpo de prova tipo, também em número de três (CP4, CP5 e CP6), foi produzido da mesma forma que os anteriores, no que se refere aos blocos. No entanto, para ter-se a avaliação da resistência do conjunto incluindo os bambus, estes foram posicionados nas extremidades das paredes, ficando os furos intermediários sem a estruturação de colmos.

Pode-se observar pela Figura 53 que os furos dos blocos foram preenchidos com copos descartáveis plásticos, evitando que nestes pontos a argamassa pudesse penetrar.



Figura 53 - Corpo de prova, CP 4, com estrutura de bambu nas extremidades
Fonte: Autoria própria

O terceiro e ultimo corpo de prova tipo utilizou peças de bambu em todos os furos (CP7, CP8 e CP9), estruturando a pequena parede em toda a sua extensão (Figura 54).



Figura 54 - Corpo de prova, CP 7, com estrutura total de bambu
Fonte: Autoria própria

Foram utilizadas peças de bambu preparadas com comprimento de 45 cm, visualmente verificadas quanto a sua uniformidade e isentas de falhas (Figura 55).



Figura 55 – Detalhe dos colmos de bambu preparados para inserção nas paredes
Fonte: Autoria própria

Para o posicionamento destas seções de bambu no interior das paredes, optou-se pela colocação dos nós na parte superior, com sua membrana natural interna sob o capeamento, evitando-se assim o preenchimento com argamassa no colmo (o que ocorreu nos ensaios preliminares) conforme mostra a Figura 56.



Figura 56 – Colmos de bambu com o diafragma na extremidade, colocados no interior dos furos dos blocos nas paredes.
Fonte: Autoria própria

O capeamento foi executado com 1,5cm de espessura, com argamassa de assentamento, criando uma regularização para apoio da viga metálica rígida necessária a distribuição das cargas da célula do pórtico de reação. Nas Figuras 57 e 58, pode-se observar esta regularização.



Figura 57 – CP recebendo capeamento e regularização para apoio.
Fonte: Autoria própria



Figura 58 - CP regularizado e capeado.
Fonte: Autoria própria

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No ensaio de umidade dos blocos de solo-cimento foram utilizados corpos de prova de diferentes idades, ou seja, o lote inicial recebido no canteiro de obras do DACOC ficou ambientado durante aproximadamente seis meses em relação ao restante da carga recebida posteriormente. Isto foi observado nos resultados, pois os blocos mais novos à disposição destes testes indicaram uma menor absorção de água, conforme mostrado no Tabela 5. Os CP's indicados a partir do numero 21 até o de numero 30, apresentaram resultados em torno de 9% de umidade, enquanto que os demais apresentaram umidade média de 17%.

Ainda com relação aos blocos de solo-cimento, o ensaio de compressão forneceu resultados compatíveis com o especificado pela NBR 10834/2013, ficando em pelo menos três vezes o valor mínimo previsto. A NBR 10834/2013 indica que este valor (médio) deve ser maior ou igual a 2,0 MPa, sendo este valor limite aos vinte e oito dias.

As análises feitas pelo autor mostram que se pode considerar a utilização destes blocos de solo-cimento em estruturas convencionais, utilizando aço de construção na armação de paredes, como já são aplicados nas edificações correntes.

Quanto ao bambu, o ensaio de umidade forneceu como resultado médio, o teor de umidade de 11% para os corpos de prova extraídos dos colmos sem nós.

O valor médio do teor de umidade nos colmos com nós (diafragma interno) resultou em 8,6%, podendo levar a conclusão de que a absorção de umidade é facilitada pela ausência do diafragma.

Empiricamente e somente por observação, os colmos de bambu ao serem deixados em um ambiente externo, tenderam a produção de “bolor” exatamente nos diafragmas, mesmo se receberam tratamento anterior. Isto pôde ser verificado na preparação (corte) das peças de bambu que foram inseridas nas paredes, para o ensaio do conjunto bloco/bambu. Estas peças ficaram em ambiente fechado, depositados no laboratório de estruturas do DACOC.

O teor de umidade de referência indicado na NBR 7190/1997 é de 12 % para a classe 1 de madeiras, relacionando-se diretamente com a umidade relativa do ambiente onde permanecerá a estrutura de madeira, em valores iguais ou menores

do que 65%. Esta classificação também pode ser utilizada para a escolha dos métodos de tratamentos preservativos de madeiras.

Beraldo e Pereira (2016) afirmam que a avaliação das características mecânicas do bambu não é uma tarefa muito simples, visto que nem sempre os procedimentos prescritos pela NBR 7190/1997, específica para madeira, podem ser diretamente aplicados.

Embora o INBAR (International Network for Bamboo and Rattan) apresente linhas gerais para efetuar os procedimentos no tocante à realização dos ensaios, resta um longo caminho a ser percorrido até que se atinja consenso entre os pesquisadores (BERALDO e PEREIRA, 2016).

Nos ensaios à compressão simples, valores médios de 67 MPa e de 79 MPa foram obtidos por Carvalho (2004) para as espécies *B. tuldoides* e *P. áurea*, respectivamente. Beraldo (1987) encontrou valores de 55 MPa e 65 MPa para amostras cilíndricas das espécies *Phyllostachys SP* e *Phyllostachys purpuratta*, respectivamente. Hidalgo-Lopez (2003), estudando a espécie *G.angustifolia*, encontrou que a resistência em compressão do colmo aumenta até a idade de 5 anos. Um valor máximo de 70 MPa foi obtido com colmos de 5 anos e um mínimo de 26 MPa para colmos de 1 ano. Embora se observe uma grande variabilidade nos resultados apresentados pelos diferentes autores, investigando diferentes espécies de bambu, tais valores são muito superiores àqueles apresentados, por exemplo, pelo concreto convencional (da ordem de 15 a 20 MPa), (BERALDO e PEREIRA, 2016).

No que se refere ao ensaio de compressão do bambu, os resultados médios encontrados de 96,21 MPa (sem nós) e 119,09 MPa (com nós) foram equivalentes ao que especifica a NBR 7190/1997, em que madeiras como Angelim Ferro, Maçaranduba e Sucupira, com resistências à compressão paralelas às fibras, possuem respectivamente 79,5 MPa, 82,9 MPa e 95,2 MPa.

Também podemos concluir que segundo valores encontrados pelos autores citados anteriormente, as amostras de bambu ensaiadas situam-se na faixa de idade entre um e cinco anos.

Quanto aos resultados dos ensaios de obtenção da resistência à tração na flexão simples reta do bambu, no qual o carregamento foi aplicado em uma só direção e contido em um dos eixos baricentrais, a espécie estudada atingiu o valor

médio aproximado de 161 MPa, justapondo-se aos resultados indicados na bibliografia.

O deslocamento médio das barras estudadas foi de 12 cm (aproximadamente).

O corpo de prova de numero 7 foi desconsiderado por ter rompido ao ser aplicada a carga de 36 MPa (aproximadamente), destoando dos valores encontrados nas demais amostras.

Beraldo et al. (2003) comentaram que o comportamento à flexão do bambu, como um todo ou de seus segmentos, é muito importante para efetuar-se a análise estrutural.

Em geral, os resultados observados na literatura disponível situam a resistência do bambu em flexão entre 30 e 170 MPa, devendo esta variação não apenas à própria resistência a flexão, mas também à metodologia adotada na realização do ensaio de flexão e pela dimensão do corpo de prova utilizado.

Em função de não terem sido colocados extensômetros nos corpos de prova nos testes à flexão, e também do mascaramento dos resultados pela rigidez do mecanismo da prensa, não foi obtido o módulo de elasticidade.

Novos ensaios com a aplicação de extensômetros poderão ser executados para obterem-se novos parâmetros de cálculo.

De acordo com os resultados do ensaio de flexão, o maior deslocamento vertical está diretamente proporcional a maior carga de ruptura, conforme Tabela11.

Tabela11 – Valores comparativos da resistência à flexão com o deslocamento nos CPB's.

CP	DESLOCAMENTO (y) (mm)	σ (MPa)
1	125,73	170,65
2	127,13	168,31
3	168,84	169,03
4	192,24	255,36
5	117,45	139,03
6	105,81	194,39
7	99,84	35,96
8	134,30	113,00
9	85,20	160,22
10	113,58	154,33
11	101,20	123,95
12	97,91	127,17

Fonte: Autoria própria

Em relação aos ensaios à compressão das paredes, nos testes efetuados com as paredes sem nenhuma estrutura de bambu (corpos de prova 1, 2 e 3), os resultados obtidos foram de 104,3 kN, 130 kN e 153 kN, respectivamente. A amostra 3 resultou em um valor acima da média (considerando esta amostra no cálculo).

A Figura 59 mostra o rompimento destas paredes. Pode-se ponderar que o comportamento ocorreu de maneira análoga aos testes individuais dos blocos de solo-cimento.



**Figura 59 - CP 1 após rompimento
no ensaio à compressão
Fonte: Autoria própria**

Durante o ensaio foi observado que a parede sem os colmos de bambu rompeu mais bruscamente que as demais, indicando que houve falha na resistência por não existir material que estruturasse a amostra (Figura 60).



**Figura 60 - CP 3 (sem estrutura em bambu) após o final do ensaio
Fonte: Autoria própria**

Nas paredes em que a estruturação com bambu foi totalmente preenchida, o conjunto exerceu influência significativa para aumentar sua resistência, ou seja, a pequena parede estruturada suportou mais carga que a pequena parede oca (corpos de prova 7, 8 e 9).

Na Figura 61 observa-se a vista anterior da parede de numero 7 no início do ensaio de compressão.



Figura 61 - Início do ensaio do CP 7 (parede com oito bambus), vista anterior
Fonte: Autoria própria

A Figura 62 mostra que ao receber a carga máxima de ruptura, os blocos de solo-cimento apresentaram fissuras como indicado, mas a viga de apoio (baldrame) também apresentou fissura próximo ao eixo central da parede.

Também entre a quarta e quinta fiadas de blocos, houve um aparente “assentamento” horizontal sem, no entanto, haver ruptura total. Neste ponto, presume-se que o bambu exerceu a absorção da carga, evitando que a parede entrasse em ruína.

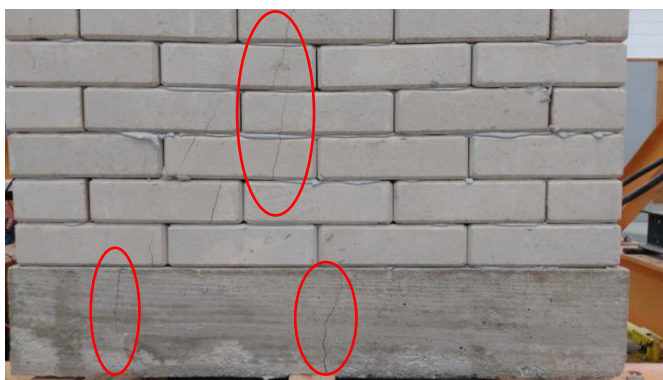


Figura 62- Final do ensaio do CP 7 (parede com oito bambus), vista posterior
Fonte: Autoria própria

As cargas de ruptura obtidas no ensaio de compressão foram de 151,3 kN para o CP 7, 151 kN para o CP 8 e 148,3 kN para o CP 9.

No caso das paredes estruturadas com a metade do número de peças de bambu do que aquelas estruturadas totalmente (corpos de prova 4, 5 e 6), o conjunto de numero 4 sofreu torção na área central da pequena parede juntamente com a viga metálica de apoio da célula de carga e distribuição das forças do pórtico. Isto pôde ser observado com um carregamento da carga de 134,3 kN (Figura 67).

Este corpo de prova teve um resultado muito inferior aos demais exemplares, CP's 5 e 6, com cargas iguais de ruptura medidas em 152 kN e 153 kN, respectivamente.



Figura 63 – CP 4 após rompimento

Fonte: Autoria própria

As seções de bambu preparadas para compor a estrutura do corpo de prova de numero 4, permaneceram intactas, sem nenhuma rachadura ou “quebra” aparente.

Observou-se que estas peças de bambu apresentaram umidade oriundas provavelmente da argamassa utilizada na sua fixação interna (Figura 64).

Neste experimento, não se utilizou graute como agente de fixação e resistência ao conjunto, o que ocorre em construções convencionais com este tipo de bloco e armadura de aço.

Para que seja utilizado bambu como “armadura” neste processo construtivo, mais testes deverão ser realizados com relação à união destes dois materiais.

Observa-se também que em algumas peças a aderência da argamassa não foi total.



Figura 64 – Detalhe das peças de bambu do retiradas do interior do CP 4
Fonte: Aatoria própria

Na tentativa de avaliar uma grandeza análoga à rigidez, fixou-se a carga de 50 kN como referência à todos os corpos de prova ensaiados. Utilizando-se os deslocamentos obtidos, chegou-se a um resultado próximo ao módulo de elasticidade, calculado segundo a equação (6):

$$“E” = \text{carga de referência} / \text{deslocamento} (6)$$

Os cálculos foram executados para cada relógio medidor dos deslocamentos, posicionados à direita e à esquerda na parte superior das paredes, no momento do ensaio à compressão, obtendo-se os valores indicados na Tabela 12. Estes resultados mostraram que existe uma coerência entre todas as amostras, no que diz respeito ao comportamento à ruptura neste ensaio.

Para as paredes não estruturadas com bambu, o comportamento dos três corpos de prova foi aleatório, assim não foi possível estimar uma relação entre as cargas de ruptura e seus deslocamentos. Isto pode ter sido influenciado por vários fatores, entre eles a execução da parede (maior ou menor quantidade de argamassa de assentamento, o que pode ter levado a uma maior rigidez), o mau posicionamento dos equipamentos periféricos utilizados no pórtico, tais como a célula de carga e a barra metálica para distribuição de cargas.

Pelas cargas de ruptura, foi possível julgar que, no universo de três unidades de cada tipo, uma delas em cada grupo comportou-se de maneira diferenciada das demais, também verificado pela Tabela 12.

Ao agrupar os resultados em paredes sem estrutura e paredes com a estrutura em bambu, os valores indicaram um comportamento semelhante nos

grupos em que as paredes foram estruturadas com bambus, sendo que esta relação manteve-se em torno de 14,5 kN/mm, com carga de ruptura em torno de 150kN e deslocamentos próximos a 4mm.

Tabela12–Relação carga de referência / deslocamento – ensaio à compressão (CP's 1 a 9)

Grupo	CP	Relógio medidor de deslocamento (mm)		Relação entre Carga de referência / Deslocamento (kN/mm)		Carga Máxima (kN)
		Direito	Esquerdo	Direito	Esquerdo	
Corpos de prova totalmente sem bambu	1	4,38	6,34	11,42	7,89	104,3
	2	4,13	4,13	12,11	12,11	130,0
	3	2,51	3,40	19,92	14,71	152,0
Corpos de prova parcialmente com bambu	4	3,40	3,08	14,71	16,23	134,3
	5	3,08	3,75	16,23	13,33	152,0
	6	4,13	4,38	12,11	11,42	153,0
Corpos de prova totalmente com bambu	7	3,95	4,38	12,66	11,42	151,3
	8	3,75	3,95	13,33	12,66	151,0
	9	2,83	2,23	17,67	22,42	151,3

Fonte: Autoria própria

Pode-se observar nos gráficos 5 a 13 a indicação das curvas obtidas entre a carga de referência de 50 kN e os dados fornecidos pelos relógios medidores de deslocamentos em cada grupo de corpos de prova ensaiados.

Para o grupo de CP's sem estrutura em bambu (CP1, CP2 e CP3), os gráficos 5, 6 e 7, sinalizam que para a carga adotada de referência, o provável corpo de prova com maior rigidez foi o de número 3, justamente aquele com carga de rompimento final de 152 kN.

Gráfico 5 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 1

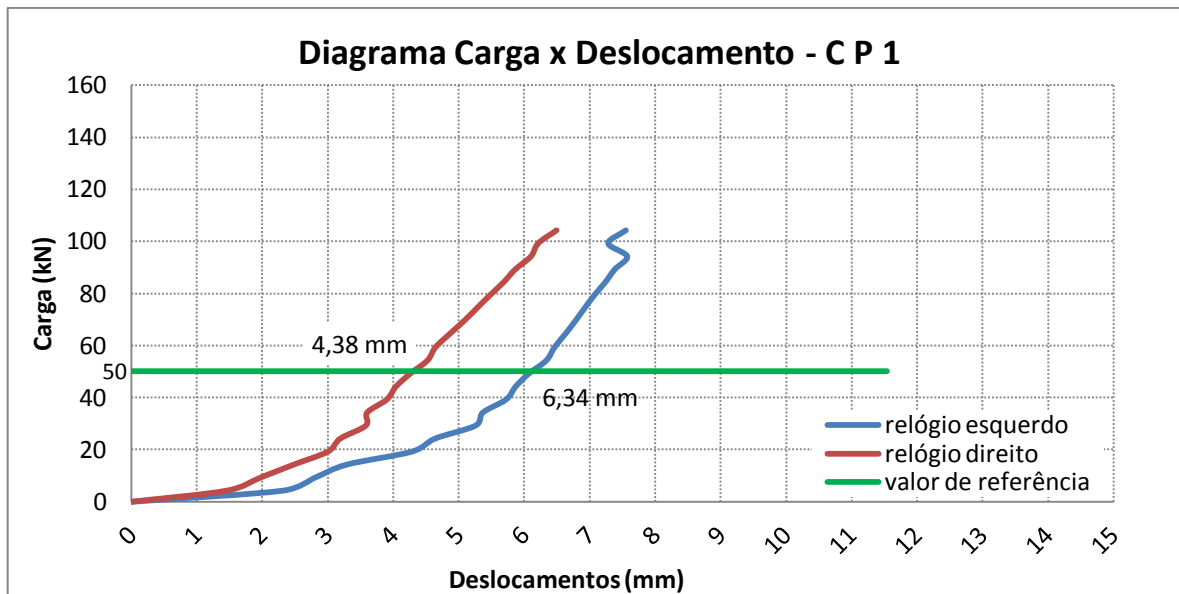


Gráfico 6 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 2

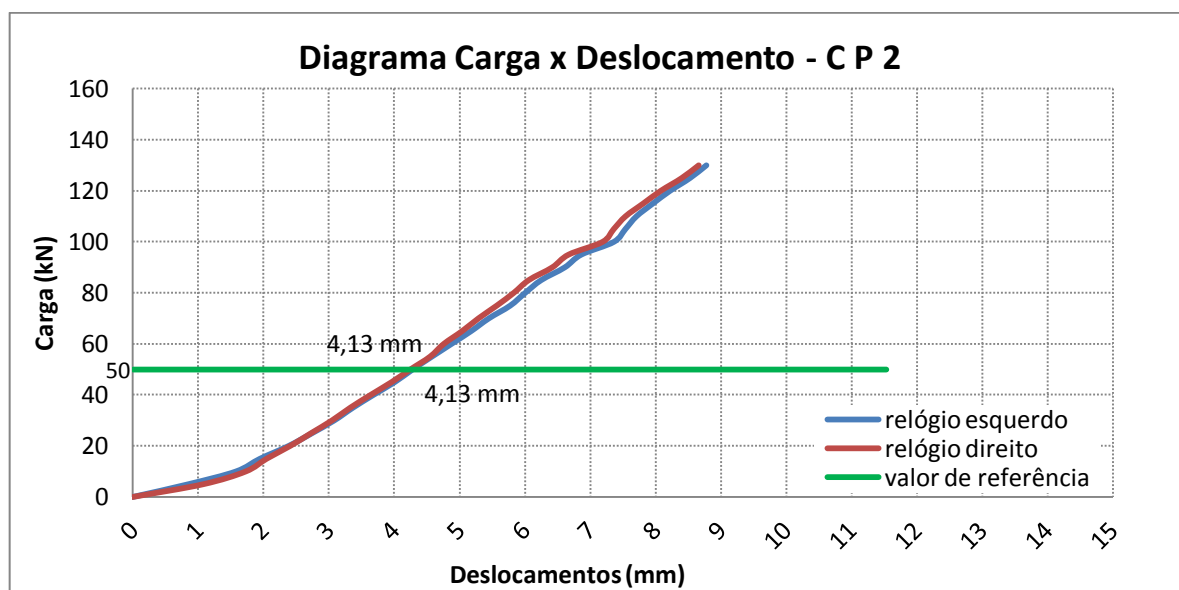
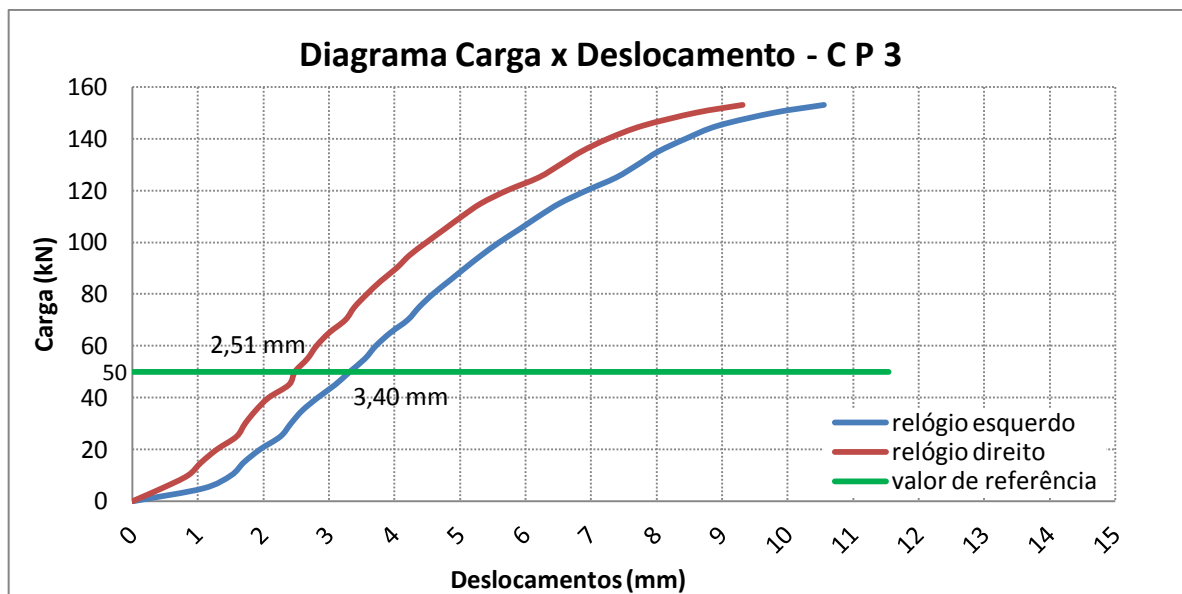


Gráfico 7 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 3



No grupo dos corpos de prova com estrutura parcial em bambu (CP4, CP5 e CP6), os gráficos 8, 9 e 10 indicam que todos eles obtiveram resultados semelhantes, apontando que a estrutura interna colaborou para a rigidez do conjunto. Neste grupo o deslocamento medido foi de aproximadamente 4 mm.

Gráfico 8 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 4

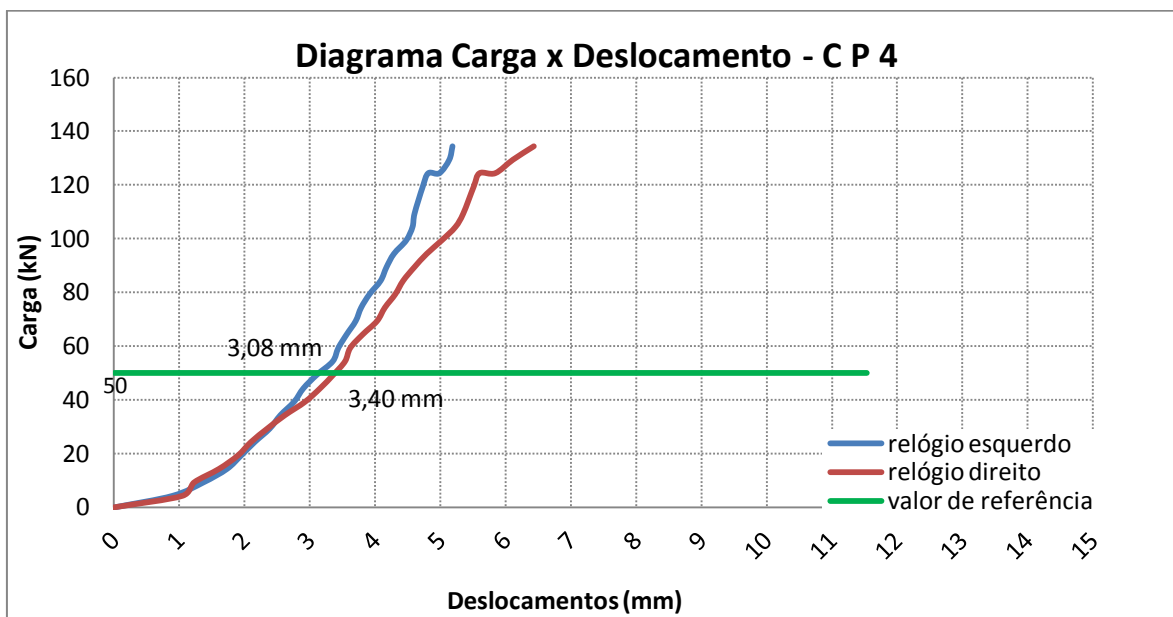


Gráfico 9 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 5

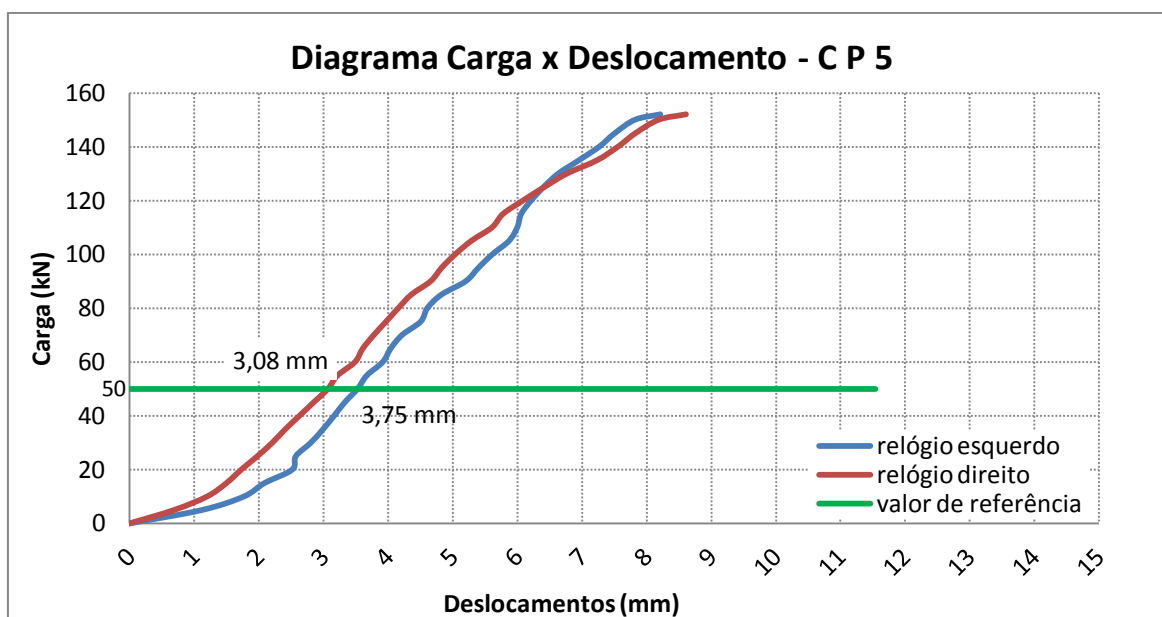
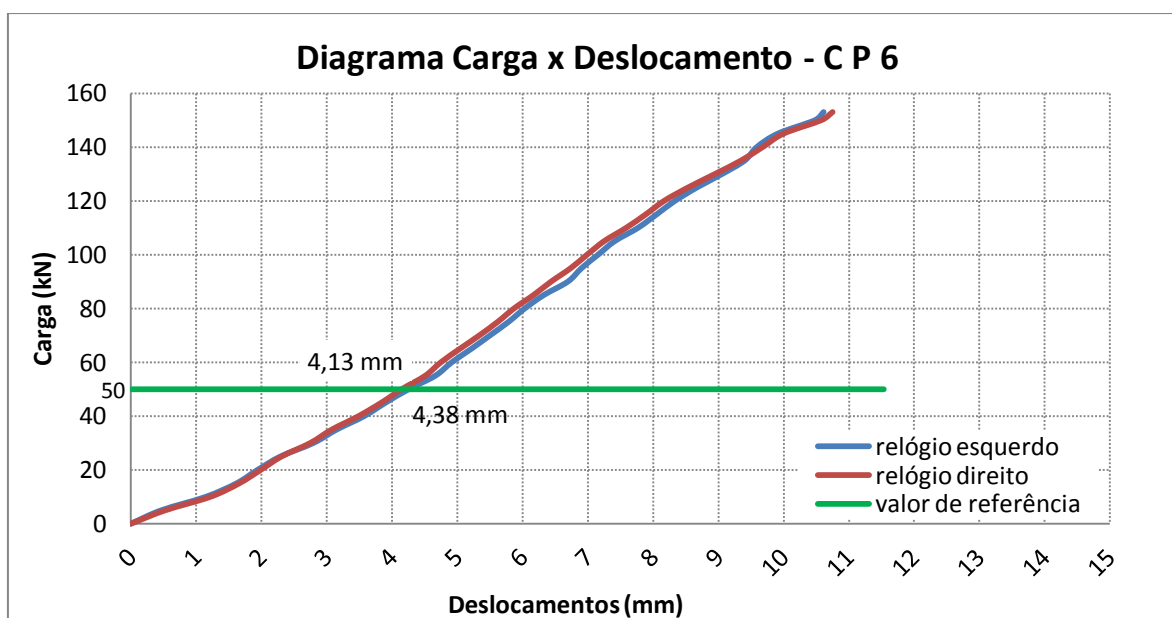


Gráfico 10 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 6



Por fim, como no grupo anterior, os CP's que foram totalmente estruturados com bambu (CP7, CP8 e CP9), os gráficos 11, 12 e 13 comportaram-se de maneira análoga, confirmando que a estrutura de bambu pode colaborar na resistência do painel. No CP 9, o deslocamento medido foi de cerca de 2mm, o que aponta um comportamento estrutural favorável no uso destes materiais.

Gráfico 11 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 7

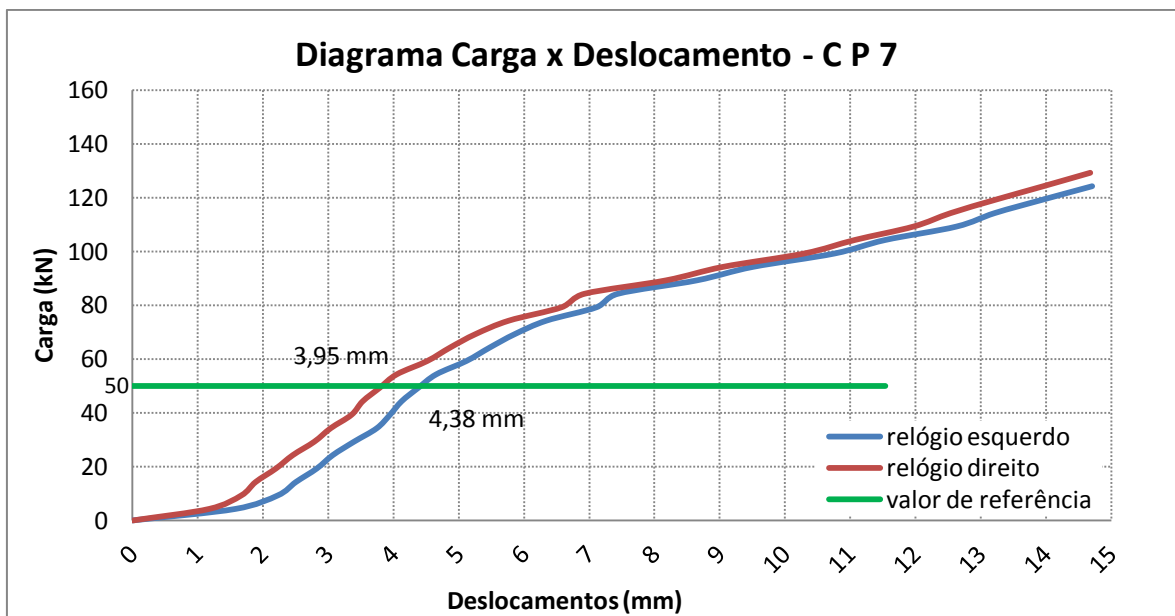


Gráfico 12 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 8

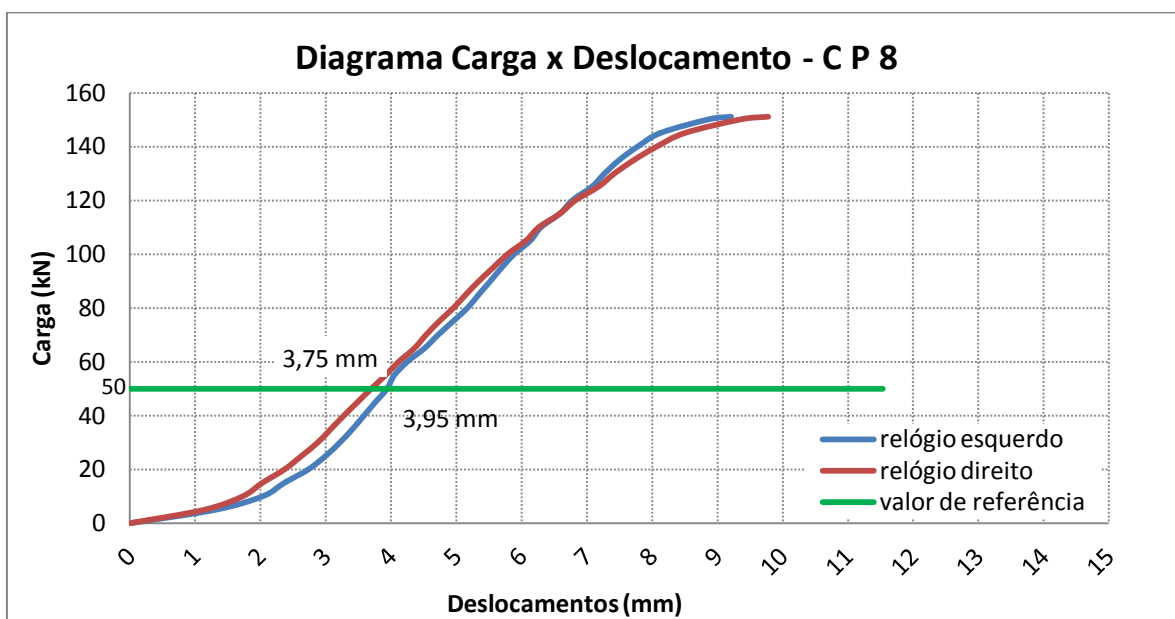
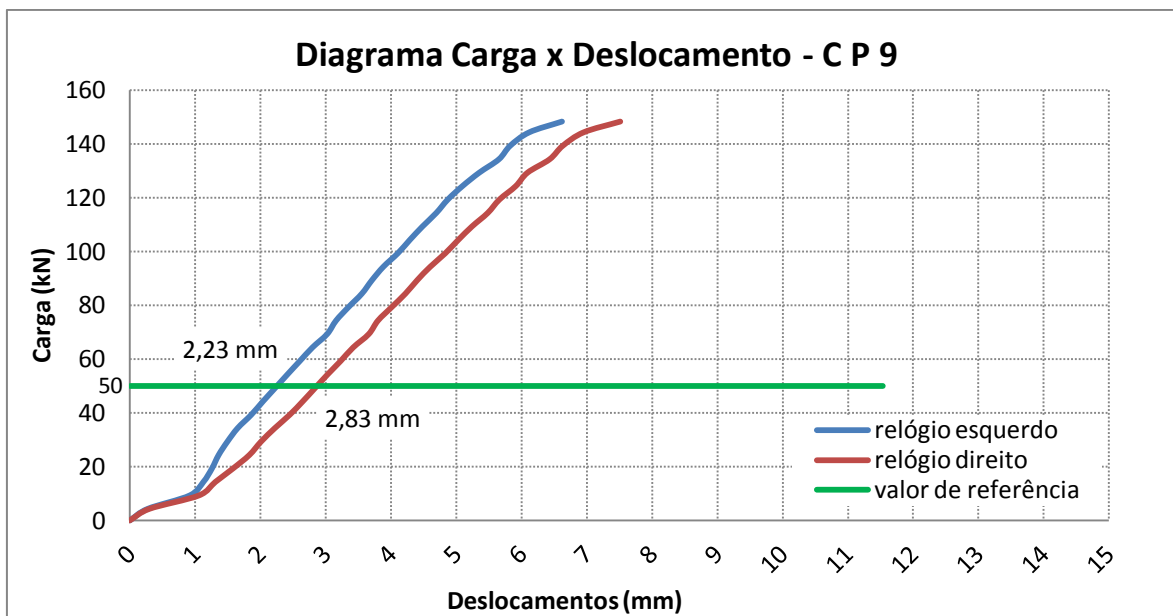


Gráfico 13 – Diagrama Carga x Deslocamento CP 9



Após a ruptura dos corpos de prova de bambu/blocos de solo-cimento, as paredes que ainda permaneceram edificadas sem ruína total, foram deslocadas à área externa do laboratório de estruturas para que fiquem sujeitas às intempéries por um longo período de tempo, até que comece a apresentar alterações visuais. Pretende-se avaliar as condições destas amostras, no que diz respeito ao seu comportamento perante condições climáticas gerais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Desenvolveu-se um protótipo de parede em blocos de solo e cimento estruturados com varas de bambu. Os principais elementos da pesquisa foram a avaliação dos pontos fortes dos blocos de solo cimento por compressão, do bambu à compressão e flexão axial, e do conjunto de blocos de solo-cimento / bambu à compressão.

Este trabalho cumpriu o objetivo inicialmente proposto, avaliando a utilização do bambu como elemento estrutural de um processo construtivo inovador, conforme análises de resistência do bambu e dos blocos de solo-cimento, separadamente e

também do conjunto blocos/bambu. Isto pode ser comprovado através da metodologia apresentada no Capítulo 3.

Os resultados dos ensaios desenvolvidos com os blocos de solo-cimento mostraram que o material, já sendo utilizado em construções convencionais, satisfaz perfeitamente ao proposto neste trabalho, tendo sido encontrado o valor de 7,45 MPa, nos ensaios à compressão.

Com relação ao bambu, ao contrário da grande maioria dos materiais industrializados, não gera resíduos em abundância, não consome energia em quantidade, pelo contrário, sequestra CO₂ da atmosfera auxiliando no controle da poluição ambiental e é um material renovável na natureza, reproduzindo-se em curto espaço de tempo, sem a necessidade de replantio, como requer a maioria das espécies de madeira.

O bambu, nos ensaios de caracterização, demonstrou possuir excelentes propriedades físicas e mecânicas que aliadas às suas características sustentáveis, o tornam um material com potencial de emprego como elemento estrutural. Como resultados obtidos, os valores de 119,09 MPa e 96,21 MPa para corpos de prova com e sem nós, respectivamente, mostraram que este elemento tem condições de ser utilizado na estrutura proposta.

Sendo o bambu um material de fácil manejo e com grande potencial para industrialização, os principais componentes construtivos feitos com esse material, podem ser pré-fabricados e industrializados, produzindo-se assim painéis de vedação vertical, pisos laminados, treliças, entre outros.

O bambu pode ainda ser combinado com materiais como concreto, blocos cerâmicos e a madeira.

O comportamento geral dos corpos de prova com as paredes constituídas de blocos de solo-cimento e bambu foi satisfatório segundo os resultados obtidos nos ensaios à compressão, o maior valor obtido foi de 153 kN, e poderão orientar o início de pesquisas com base na união destes materiais.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão com os materiais separadamente indicaram os valores de 7,45 MPa para os blocos de solo cimento, e 119,09 MPa e 96,21 MPa para corpos de prova de bambu, com e sem nós, respectivamente. No que se refere ao conjunto, paredes de solo cimento e estrutura em bambu, o resultado do ensaio à compressão foi de 153 kN, o que mostrou que ambos satisfazem perfeitamente ao proposto neste trabalho. Nas paredes

estruturadas com bambu, este elemento absorveu muito bem a carga, evitando assim que o conjunto entrasse em ruína. Podemos considerar adequada a metodologia utilizada na confecção dos corpos de provas bem como na execução dos ensaios relacionados.

A principal inovação apresentada no processo construtivo proposto foi a utilização do bambu como estrutura interna à parede construída com blocos de solo cimento.

O desenvolvimento do método, feito por meio da análise laboratorial dos materiais envolvidos no experimento, definiu as limitações, indicadores e especificações das partes que o constituíram.

6.2 SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS SOBRE O TEMA

Melhorias no desenvolvimento dos testes propostos ao estudo das paredes de blocos de solo-cimento estruturadas com bambu poderão ser feitas no sentido de se avaliar outros fatores como: influência do graute na aderência do bambu à estrutura, bem como a fixação dos colmos de bambu às fundações e demais estruturas (vigas, lajes).

Outra sugestão é a avaliação dos colmos de bambu cana-da-índia (*Phyllostachys Aurea*) do lote estudado nesta pesquisa, com relação à umidade, pois algumas peças (seis unidades com 3 m de comprimento) foram propositalmente deixadas em locais sujeitos a intempéries e também com pouca luminosidade, em áreas externas do Campus Curitiba, sede Ecovile, da UTFPR.

Pode-se ainda, sugerir o estudo das paredes constituídas de blocos de solo-cimento e bambu, construídos em ambientes externos, avaliando-se assim o comportamento ao longo de períodos pré-determinados (como por exemplo, um ano), no que diz respeito à resistência e durabilidade, em escala reduzida ou real, realizando ensaios de compressão com medições de deformações, verificando-se assim o comportamento das paredes mais próximas da realidade.

Para outros trabalhos futuros, sugere-se uma análise numérica utilizando-se os dados dos ensaios experimentais relativos às paredes, para que se obtenha uma melhor avaliação das tensões que possam surgir nos elementos estudados e se possam identificar quais são as regiões críticas de rompimento.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A.K. **Tecnologias Apropriadas: Tijolos e Paredes Monolíticas de Solo-Cimento**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1980.
- ABIKO, A.K. **Solo-Cimento: tijolos, blocos e paredes monolíticas**. In: Construção São Paulo n1863. Pini -SP, 1983.
- ABIKO, A.K. **Estabilização de solos com cimentos pozolânicos de cinza da casca de arroz e de resíduos cerâmicos**. Tese de Doutorado São Paulo EPUSP. 1987.
- AMADA, S.; UNTÃO, S. Fracture properties of bamboo. **Composites Part B**, 32, p.451-459, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagens das misturas de solo-cimento: normas de dosagem e métodos de ensaio**. ABCP: São Paulo, 1989.
- ARCE, Oscar Antonio. **Fundamentals of the design of bamboo structures**. 1993. 260 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Eindhoven University, Eindhoven, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10834**: Bloco vazado de solo-cimento. Rio de Janeiro, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10836**: Bloco vazado solo-cimento – Determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989.
- BAMBU CARBONO ZERO, CONSTRUÇÃO, AGRICULTURA, EDUCAÇÃO. Disponível em <<http://www.bambucarbonozero.com.br/>> Acesso em: 22 ago.2016.
- BENAVIDES, Andrea Salomé Jaramillo. **Proposta de Sistema Construtivo para habitação de interesse social com bambu guadua: em estudo de caso no Equador**. 2012. 144 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – UFSC, Florianópolis, 2012.
- BERALDO, A. L.; PEREIRA, M. A. R.; **Bambu de Corpo e Alma**. 352p. 2ª edição Editora Canal 6, São Paulo, ISBN. 978-85-7917-393-6, 2016.
- BOURNE, D.J. (1978). **New uses of sulfur II**. Durval Corporation / Washington D.C. 14p.

CAPELLO, Giuliana. **Construções de Bambu. Técnica.** São Paulo: Techne, mar.2006. Edição 108.

CARDOSO Jr, R..Dissertação Mestrado UFRGS.**Arquitetura com bambu.**agosto 2000

CHUNG, K.F.; YU, W.K. Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. **Engineering Structures**, v.24, p.429–442, *Department of Civil and Structural Engineering, the Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong SAR, China*2002.

CODETEC – Unicamp. Considerações sobre Tecnologia Apropriada. Campinas, 1979. Darrow, K., Pam, R. *Appropriate Technology Sourcebook. Volunteers in Asia Publications*, 1976.

DIXON, P.G.; GIBSON, L. J. **The structure and mechanics of Moso bamboo material. J. R. Soc. Interface**, 11, 2014.

ECO MÁQUINAS INDÚSTRIA, COMERCIO, IMPORTAÇÃO E EXPORTAÇÃO LTDA. Disponível em <<http://ecomaquinas.com.br/modelos-de-blocos-e-tijolos-ecologicos>> Acesso em: 26 out.2015

ESPELHO, J.C.C.; **Tratamento Químico de Colmos de Bambu pelo Método de Boucherie Modificado.** Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Dissertação de Mestrado, 2007.

FERREIRA, A. R. L.; MOREIRA, H. C.. **Análise Crítica da Gestão de Resíduos de Construção Civil: Estudo de caso do município do Rio de Janeiro/.** – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.VII, 129 p.: il.; 29,7 cm.

GALLO, Z. **Ethos, a grande morada humana: economia, ecologia e ética.** Itu: Ottoni, 2007.

GRANDE, F. M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com esem adição de sílica ativa.** 2003. Dissertação (Mestrado em Arquitetura). Universidade de São Paulo, São Carlos.

GUTIERREZ, N. H. M.; ZANATTA, K.C.; MARTINS, D. N. **Evolução do desempenho de blocos de solo-cimento ao longo do tempo: Resistência à compressão simples.** GEOSUL 2015 – X Simpósio de Prática de Engenharia Geotécnica da Região Sul – Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá, PR, Brasil. 17 a 19 de setembro de 2015.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais.** 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

ISO 22157-1: Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 1: Requirements. ISO, 2004.

ISO 22157-2. Bamboo – Determination of physical and mechanical properties – Part 2: Laboratory manual. ISO, 2004.

KURIAN, N.P.; KALAM, AK. A.(1977). **Bamboo reinforced soil-cement for rural use.** In: Indian Concrete Journal, n51, Dez, p.382-389.

LIESE, W. Progress in bamboo research. **The Journal of the American Bamboo Society**, v. 8 , n. 1, 1991.

LIMA JR., H. C. ; WILRICH, F. L.; FABRO, G. **Vigas de concreto reforçadas com bambu *Dendrocalamus giganteus*.** Parte II: Modelagem e critérios de dimensionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.652-659, 2005.

LOGSDON, N. B.; CALIL JUNIOR, C. Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira. **Cadernos de Engenharia de Estruturas.** São Carlos, n.18, p. 77-107, 2002.

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

LUGT, P. van der, DOBBELSTEEN, A.A.J.F. van der, JANSSEN, J.J.A. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. **Construction and Building Materials**, Holanda, v.20, p. 648-656, 2005.

LUNA, P.; LIZARAZO-MARRIAGA, J.; MARIÑO, A..**Guaduaangustifolia bamboo fibers as reinforcement of polymeric matrices: An exploratory study** Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola. Universidad Nacional, Bogotá, Colombia. **Construction and Building Materials** 116 (2016) p.93–97.

MAHZUZ, H.M.A. Determination of Several Properties of a Bamboo of Bangladesh.**Journal of Civil Engineering Research.** p. 16-21, 2013.

MARÇAL, V. H. S. **Uso do Bambu na construção civil.** Brasília: Universidade de Brasília, 2008. 60p.

NEVES, C.M.M..**O USO DO SOLO-CIMENTO EM EDIFICAÇÕES. A EXPERIÊNCIA DO CEPED.**CEPED. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento. Universidade do Estado da Bahia. Rede Ibero-Americana PROTERRA. V Seminário Iberoamericano de Construcción contierra ; I Seminario Argentino de Arquitectura y Construcción contierra, 14 al 17 de Junio de 2006, Mendoza, Argentina, 2006, ISBN 9789506920678, págs. 96-97

OBATAYA, Eiichi; KITIN, Peter; YAMAUCHI, Hidefumi. **Bending characteristics of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) with respect to its fiber-foam composite structure.** **Wood Sci Technol**, 41, p. 385-400, 2007.

OLIVEIRA, Thaisa Francis César Sampaio de. **Sustentabilidade e Arquitetura: Uma reflexão sobre o uso do bambu na Construção Civil**. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2006.

OKA, Gusti Made *et al.* **Effects of node, internode and height position on the mechanical properties of *gigantochloatroviolaceabamboo***. *Procedia Engineering*, 95, p. 31-37, 2014.

OSCAR NETO, **Tijolo Ecológico é opção econômica para a construção civil : Casas Ecológicas e Sustentáveis**. Disponível em PIRES, I. B. A. A utilização do tijolo ecológico como solução para construção de habitações populares. Salvador: Universidade Salvador – UNIFACS, 2010.

PINHEIRO, R. J. B.; SOARES, J. M. Utilização de solos arenosos para obtenção de tijolos de solo-cimento. *Revista Cerâmica Industrial* São Paulo, v.15, n. 5-6, p. 30-36, set./dez. 2010.

RADASKIEVICZ, T. **Influência do tipo de ligação no desempenho de treliças de bambu mosô** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba -PR.

SALA, L. G., **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários**. 2006. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SALGADO, M. S.; CHATELET, A.. FERNANDEZ, P. **Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas**. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 12, n. 4, p. 81-99, out./dez. 2012.

Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Ideias de Negócios: fábrica de tijolos ecológicos**. SEBRAE. 26p. Disponível em: <http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ideias/como-montar-uma-fabrica-de-tijolos-ecologicos,ce387a51b9105410VgnVCM1000003b74010aRCRD>. Acesso em: abr.2016.

SHAO, ZP *et al.* Differences in structure and strength between internode and node sections of Moso bamboo. *Journal of tropical forest science*, Malaysia, v.22, p. 133-138, abr. 2010.

SHARMA, Bhavna *et al.* Engineered bamboo for structural applications. *Construction and Building Materials*, 81, p. 66-73, 2015.
SOARES, Sebastião Fróes Brandão de Sousa. **Estruturas em bambu**. 2013. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013.

SOBRINHO JR, A.S.; TORRES, S.M.; BARBOSA, N.P. **Resistência mecânica de painéis de bambu e argamassa com resíduos industriais para construções de interesse social**. *InterScientia*, João Pessoa, v.3, n.1, p.194-206, jan./jun. 2015.

SOUZA, R.L.;BOURSCHEID, J.A..**A UTILIZAÇÃO DO BAMBU EM CASAS POPULARES. Caderno de Publicações Acadêmicas** V. 2, N. 1 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC (2010)

SUSSEKIND, José Carlos. **Curso de Análise Estrutural**. 6. ed. Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1981.

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, 2015; 22(1):124-133

UNIVERSIDADE DO BAMBU. Disponível em <
<http://bambucarbonozero.blogspot.com.br/?view=classicconstrucao/varas> > Acesso em: out.2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - **Fazenda Experimental da Ressacada** – CENTRO DE CIENCIAS AGRARIAS – UFSC. Disponível em<<http://fazenda.ufsc.br/descricao-fisica/areas-didaticas-experimentais/silvicultura/bambu>> Acesso em: 20 out.2015

VARGAS, M. Para uma Filosofia da Tecnologia. Editora Alfa Omega, São Paulo, 1994. Viezzer, M., Ovalles, O. (org.) **Manual Latino-Americano de Educação Ambiental**. Editora Gaia, São Paulo,1994.

YU, W.K; CHUNG, K.F.; CHAN, S. L. Column buckling of structural bamboo **Engineering Structures** v25 p.755–768, Department of Civil and Structural Engineering, the Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong SAR, China 2003.