



PROJETO DE ABRIGO EMERGENCIAL DESMONTÁVEL COMPOSTO POR
PEÇAS PRÉ-FABRICADAS LEVES E AUTOPORTANTES EM BAMBU E
BIOCONCRETO

Carla Magalhães Lima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: Romildo Dias Toledo Filho

Rio de Janeiro

Julho de 2020

PROJETO DE ABRIGO EMERGENCIAL DESMONTÁVEL COMPOSTO POR
PEÇAS PRÉ-FABRICADAS LEVES E AUTOPORTANTES EM BAMBU E
BIOCONCRETO

Carla Magalhães Lima

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Orientadores: Romildo Dias Toledo Filho

Aprovada por: Prof. Romildo Dias Toledo Filho

Prof. Eduardo Moraes Rego Fairbairn

Prof. Thiago Melo Grabois

Prof. Normando Perazzo Barbosa

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JULHO DE 2020

Lima, Carla Magalhães

Projeto de abrigo emergencial desmontável composto por peças pré-fabricadas leves e autoportantes em bambu e bioconcreto / Carla Magalhães Lima. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2020.

XIX, 163 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Romildo Dias Toledo Filho

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2020.

Referências Bibliográficas: p. 150-162.

1. Abrigos Emergenciais Leves. 2. Bambu. 3. Bioconcreto. 4. Pré-fabricação. I. Toledo Filho, Romildo Dias II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

*Aos meus pais, tio e ao Marco por estarem
sempre presentes na minha vida.*

Agradecimentos

Ao meu orientador Romildo pela honra de me aceitar como sua aluna e entender o que me deixaria inspirada como pesquisadora antes de eu conseguir colocar em palavras. Me inspirou desde a primeira ideia sobre o tema da dissertação e continua a cada reunião. Soube me direcionar com didática e sabedoria, além de ver minha origem de outra área e profissão como uma potencialidade.

Agradeço aos meus pais Carlos e Sonia e ao meu tio João pelo amor e apoio incondicional. Além de me incentivarem sempre a ter forças e cumprir meus próprios desafios.

Também agradeço ao Marco por toda ajuda e carinho. Por estar comigo nas derrotas e vitórias, além de me ensinar engenharia como nenhum outro conseguiria. Obrigada por ser tão especial na minha vida.

Yassin e Vanessa, presentes que a vida me deu, obrigada por me guiarem e me ajudarem nessa nova jornada com tantos ensinamentos. Agradeço pelo apoio, inspiração, amizade e por sempre tentarem encontrar comigo um caminho quando as coisas me parecem mais obscuras.

Agradeço aos técnicos de laboratório por ajudarem a tornar minha pesquisa realidade. Em especial ao Luís que me tornou uma quase marceneira e ao Carlos pela ajuda e inspiração.

Ao professor Fernando Ribeiro e a Wilma pelo incentivo de entrar no mestrado e seguir na área de materiais. Obrigada, por acreditarem no meu talento.

Amandinha, Bruno, Mônica, Yasmin, Tamara, Amanda, Victória, Filipe, Gabi, Nathi e Rayanne, obrigada por dividirem seu conhecimento comigo. Pela paciência e dedicação em me colocar no universo da Engenharia.

A todos os colegas de laboratório, em especial à Giovanna, e a equipe de funcionários do NUMATS, em especial a Luzidelle e a Ioná. Todos sempre gentis e dispostos a ajudar.

Por fim deixo meu agradecimento à Universidade Federal do Rio de Janeiro pela formação e a CAPES e Fundação COPPETEC pelo apoio financeiro.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROJETO DE ABRIGO EMERGENCIAL DESMONTÁVEL COMPOSTO POR
PEÇAS PRÉ-FABRICADAS LEVES E AUTOPORTANTES EM BAMBU E
BIOCONCRETO

Carla Magalhães Lima

Julho/2020

Orientador: Romildo Dias Toledo Filho

Programa: Engenharia Civil

O bambu é utilizado como sistema construtivo em diferentes tipos de edificações. Sua aplicação em abrigos emergenciais, os quais têm vital papel em cenários de perseguição político-religiosa ou desabrigo, proporciona leveza e estética. Porém, se somado a um fechamento em bioconcreto, adquire características relevantes como conforto ambiental, fácil transporte e montagem. Esses materiais são uma alternativa mais ecológica se comparados aos tradicionalmente aplicados em abrigos emergenciais. Para tanto, este trabalho propõe um sistema construtivo modular pré-fabricado composto de peças com estrutura em colmos de bambu Mossô e vedação em bioconcreto de bambu. Os colmos da peça pré-fabricada, seu encaixe tipo boca de peixe, suas ligações e seu bioconcreto foram caracterizados experimentalmente. O bioconcreto estudado com 45% de resíduos de bambu em volume apresentou resultados mecânicos de resistência à compressão e flexão de 8,11 MPa e 2,69 MPa, respectivamente. Os ensaios de resistência à compressão do sistema viga-colmo em bambu apontaram que o diafragma da viga posicionado no eixo do pilar com boca de peixe é a melhor configuração para esse tipo de encaixe ortogonal. A estrutura modular projetada com o sistema construtivo foi analisada utilizando o software SAP 2000, obtendo resultados satisfatórios para o uso em abrigos emergenciais em distintas localidades do Brasil.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

DEMOUNTABLE EMERGENCY SHELTER PROJECT COMPOSED OF LIGHT
AND SELF-SUPPORTED PREFABRICATED PIECES IN BAMBOO AND
BIOCONCRETE

Carla Magalhães Lima

July/2020

Advisor: Romildo Dias Toledo Filho

Department: Civil Engineering

Bamboo is used as a construction system in different types of buildings. Its application in emergency shelters, which play a vital role in scenarios of political-religious persecution or homelessness, provides lightness and aesthetics. However, if added to a bioconcrete closure, it acquires relevant features such as environmental comfort, easy transport and assembly. These materials are a more ecological alternative compared to those traditionally applied in emergency shelters. For this purpose, this work proposes a prefabricated modular construction system composed of pieces with a structure in stems of Mossô bamboo and a fence in bamboo bioconcrete. The culms of the prefabricated piece, its fish-mouth fitting, its connections and its bioconcrete were experimentally characterized. The bioconcrete studied with 45% of bamboo residues by volume showed mechanical results of resistance to compression and flexion of 8.11 MPa and 2.69 MPa, respectively. The compressive strength tests of the bamboo beam-stalk system pointed out that the beam diaphragm positioned on the pillar axis with a fish mouth is the best configuration for this type of orthogonal fitting. The modular structure designed with the construction system was analyzed using SAP 2000 software, obtaining satisfactory results for use in emergency shelters in different locations in Brazil.

Sumário

Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xviii
1. Introdução.....	1
1.1 Contexto e Motivação	1
1.2 Objetivo.....	3
1.2.1 Objetivo geral.....	3
1.2.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Organização da pesquisa	3
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 Histórico de Habitações Transportáveis.....	5
2.2 Classificação e tipologia.....	11
2.3 Organização espacial, programa arquitetônico e materiais utilizados em abrigos emergenciais.....	15
2.4 Bambu	17
2.4.1 Características anatômicas	19
2.4.2 Propriedades físicas, mecânicas e térmicas.....	21
2.4.3 Tipos de ligações ortogonais a topo e encaixes viga-pilar	23
2.4.4 Aplicação do bambu em abrigos emergenciais	26
2.5 Estudos sobre bioconcreto.....	29
2.5.1 Resíduos de biomassa de bambu	29
2.5.2 Propriedades do bioconcreto com partículas de bambu	30
3. Concepção do sistema Pré-fabricado para abrigos emergenciais.....	32
3.1 Projeto	32
3.1.1 Conceito, Partido e Forma arquitetônica.....	32
3.1.2 Seleção dos materiais	33
3.1.3 Estudo preliminar e anteprojeto	36
3.2 Peça Pré-fabricada.....	39
3.2.1 Elementos	39
3.2.2 União dos componentes	40
3.3 Análise estrutural do protótipo proposto	44

3.4	Estudo de Implantação	45
4.	Materiais e métodos para produção dos elementos do sistema pré-fabricado	47
4.1	Colmos de bambu.....	47
4.1.1	Caracterização Física.....	47
4.1.1.1	Teor de Umidade	47
4.1.1.2	Massa Específica	48
4.1.2	Dimensões do colmo	49
4.1.3	Caracterização mecânica	49
4.2	Bioconcreto de bambu.....	51
4.2.1	Bioagregado de Bambu	51
4.2.1.1	Obtenção da matéria-prima	51
4.2.1.2	Produção do bioagregado de bambu	51
4.2.2	Caracterização das partículas de bambu.....	53
4.2.2.1	Peneiramento.....	53
4.2.2.2	Lavagem.....	54
4.2.2.3	Homogeneização	54
4.2.2.4	Absorção de água	55
4.2.2.5	Massa Específica e Teor de Umidade	56
4.2.3	Caracterização dos materiais cimentícios e químicos	57
4.2.3.1	Cimento Portland, Cinza Volante e Metacaulinita.....	57
4.2.3.2	Água	57
4.2.3.3	Aditivos Químicos.....	58
4.2.4	Dosagem do Bioconcreto	58
4.2.4.1	Produção dos corpos de prova de Bioconcreto.....	59
4.2.5	Ensaio mecânicos.....	60
4.2.5.1	Compressão	60
4.2.5.2	Flexão em 3 pontos	61
4.3	Concreto convencional.....	62
5.	Produção e metodologia para caracterização mecânica dos componentes do sistema pré-fabricado e de ligações.....	64
5.1	Painéis em bioconcreto.....	64
5.1.1	Produção das formas	65
5.1.2	Produção dos painéis em bioconcreto	67
5.1.3	Acabamento da chapa.....	70
5.2	Estrutura de bambu.....	70

5.2.1	Beneficiamento dos colmos para ensaios mecânicos	71
5.2.1.1	Preparação de corpo de prova para ensaio de resistência à compressão do colmo.....	72
5.2.1.2	Preparação de corpo de prova para ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular.....	74
5.2.2	Produção de formas	82
5.2.3	Aderência	83
5.2.4	Concretagem.....	84
5.2.4.1	Bioconcreto de bambu.....	84
5.2.4.2	Concreto convencional.....	85
5.2.5	Ensaio Mecânicos	86
5.2.5.1	Ensaio de resistência à compressão do colmo.....	86
5.2.5.2	Ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular.....	89
5.3	Ligações	90
5.3.1	Beneficiamento dos colmos para ensaios de resistência à tração das ligações	90
5.3.1.1	Ligação Flexível.....	91
5.3.1.2	Ligação Rígida	93
5.3.2	Ensaio mecânicos da ligação	96
5.3.2.1	Resistência à Tração.....	96
6.	Resultados e discussões	98
6.1	Propriedades do Bambu	98
6.1.1	Caracterização Física.....	98
6.2	Bioconcreto de bambu.....	99
6.2.1	Caracterização dos bioagregados	99
6.2.2	Caracterização dos materiais cimentícios e pozolânicos.....	99
6.2.3	Propriedades do bioconcreto	100
6.2.3.1	Espalhamento	100
6.2.3.2	Densidade.....	101
6.2.4	Propriedades mecânicas	101
6.2.4.1	Resistência à Compressão	101
6.2.4.2	Resistência à Flexão em 3 pontos.....	103
6.3	Painel Pré-fabricado	103
6.3.1	Chapa de bioconcreto	103
6.3.1.1	Acabamento com lixadeira.....	105
6.3.2	Propriedades mecânicas da estrutura em bambu	106

6.3.2.1	Ensaio de resistência à compressão do colmo.....	106
6.3.2.2	Ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular	108
6.3.3	Propriedades mecânicas das ligações	119
6.3.3.1	Ensaio de resistência à tração da ligação.....	119
6.4	Análise estrutural.....	123
6.4.1	Resistência à compressão e à tração.....	124
6.4.2	Flambagem.....	136
6.4.3	Ligações	141
6.4.3.1	Esmagamento do colmo de bambu.....	141
6.4.3.2	Cisalhamento do pino de bambu	142
6.4.3.3	Cisalhamento do pino de aço.....	144
6.4.3.4	Flexão do pino de aço.....	145
7.	Conclusões.....	147
7.1	Sugestões para trabalhos futuros	148
	Referências Bibliográficas	150
	Anexos.....	163

Lista de Figuras

Figura 2.1: Reconstrução de uma tenda Paleolítica a partir de vestígios encontrados. Fonte: Kronenburg, 1995, apud Anders, 2007, p.44	6
Figura 2.2: Exemplos de Iglus: a) No inverno (Oliver, 2003) e b) No verão. Fonte: Goetze, 2012, apud Marinho, 2013, p.44	6
Figura 2.3: Esquema de construção de uma tenda “Tipi”	7
Figura 2.4: Esquema de construção do <i>Yurt</i>	7
Figura 2.5: Abrigo “Nissen Hut”, utilizado na Primeira e Segunda Guerra Mundial. Fonte: Kronenburg (2014).....	8
Figura 2.6: Abrigo emergencial <i>Paper Log House</i>	10
Figura 2.7: <i>Port-a-back House</i>	13
Figura 2.8: Abrigo Better Shelter.....	13
Figura 2.9: Abrigo de emergência com estrutura de papel em Ruanda.....	14
Figura 2.10: Abrigo inflável modelo TAG L.	14
Figura 2.11: Típica disposição de um acampamento emergencial.....	15
Figura 2.12: Distribuição geográfica de bambus no mundo. Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003).	18
Figura 2.13: Distribuição do bambu no território brasileiro. Adaptado de Fialho <i>et al.</i> (2005)..	18
Figura 2.14: Regiões do bambu. Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003).....	19
Figura 2.15: Regiões do bambu e sua relação idade/função. Fonte: Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003)	20
Figura 2.16: À esquerda parede no sentido transversal e à direita no sentido longitudinal.	21
Figura 2.17: Tipos de encaixes para vigas tubulares. Fonte: Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003)	24
Figura 2.18: Tipos de ligações na norma peruana NTE E.100. Adaptado de Marçal (2018).	25
Figura 2.19: União perpendicular com disco e meia cana metálicos.	25
Figura 2.20: Ligações flexíveis. Fonte: Adaptado de Lopez (2003).	26
Figura 2.21: Perspectiva da <i>Blooming Bamboo home</i>	26
Figura 2.22: a) Implantação e explicação do módulo. b) Perspectiva explodida do abrigo.	27
Figura 2.23: Perspectiva da <i>Soe Ker Tie House</i>	28
Figura 2.24: Corte da <i>Soe Ker Tie House</i> . Adaptado de Saieh (2009).....	29
Figura 2.25: Propriedades intrínsecas do cimento e de biomassa de bambu na fabricação de compósitos.....	30
Figura 3.1: Representação do processo de obtenção da forma arquitetônica e do módulo.	33
Figura 3.2: Conceitos aplicados visando o conforto térmico do abrigo.	34

Figura 3.3: Uso de forro no abrigo para aquecimento.....	34
Figura 3.4: Conceitos utilizados que permitem a ventilação natural do abrigo pelo uso de muxarabi.....	35
Figura 3.5: Exemplo de iluminação feita por <i>shed</i>	35
Figura 3.6: Formas de transporte da peça pré-fabricada.	36
Figura 3.7: Perspectivas do abrigo proposto no presente estudo.....	37
Figura 3.8: Planta baixa do abrigo proposto com cotas em metros.....	38
Figura 3.9: Possível variação do abrigo inicial conforme necessidade de ocupação.	39
Figura 3.10: Representação dos elementos da peça em planta e perspectiva explodida.	40
Figura 3.11: Representação da união dos elementos do pré-fabricado.	41
Figura 3.12: Representação da ligação flexível viga-pilar.	41
Figura 3.13: Representação da ligação rígida viga-pilar.....	42
Figura 3.14: Representação da ligação flexível caibro-viga. Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003)	42
Figura 3.15: Representação da ligação telha-caibro.....	43
Figura 3.16: a) Representação do estudo de fundações. b) Fixação da peça pré-fabricada e a viga da fundação.	43
Figura 3.17: Esquema da estrutura em colmo de bambu do abrigo.	45
Figura 4.1: Corpos de prova para o ensaio de Teor de Umidade.	48
Figura 4.2: Triturador de dois eixos.	52
Figura 4.3: a) Formato pré-trituração. b) Após quarta trituração.....	52
Figura 4.4: a) Moinho de Facas. b) Partículas de bambu.	53
Figura 4.5: a) Peneirador mecânico. b) Partículas após peneiramento.....	53
Figura 4.6: a) Lavagem das partículas de bambu. b) Secagem das partículas.	54
Figura 4.7: Homogeneização do bioagregado de bambu.	55
Figura 4.8: a) Imersão em água das partículas de bambu. b) Secagem das partículas.	56
Figura 4.9: a) Corpo de prova. b) Setup para ensaio de resistência à compressão.....	61
Figura 4.10: a) Corpo de prova. b) Setup para ensaio de resistência à flexão.....	61
Figura 5.1: Perfil “U” da chapa em bioconcreto.	64
Figura 5.2: Amostra do MDF Branco Ultra Premium.....	65
Figura 5.3: Projeto das formas - corte e perspectiva com cotas em mm.	65
Figura 5.4: Plano de corte das peças em mm.	66
Figura 5.5: Esquema de união dos elementos da forma.	67
Figura 5.6: a) União das peças do fundo e laterais com maior dimensão aparafusadas. b) Reforço do fundo. c) Forma finalizada.	67
Figura 5.7: a) Lubrificação da forma com óleo. b) Preenchimento das bordas. c) Placas finalizadas.	68

Figura 5.8: a) Estrutura em madeira para aplicação da colcha. b) Molde coberto pela colcha. ..	69
Figura 5.9: a) Superfície irregular da chapa em bioconcreto. b) Retirada das laterais com menor dimensão da forma. c) Retirada das laterais com maior dimensão da forma. d) Permanência do fundo.	69
Figura 5.10: a) Equipamento utilizado para lixamento grosso. b) Equipamento utilizado para lixamento fino.	70
Figura 5.11: Síntese dos ensaios mecânicos estruturais do bambu.	71
Figura 5.12: a) Representação do corpo de prova para ensaio de resistência à compressão do colmo. b) Representação do corpo de prova com colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe. c) Representação do corpo de prova com colmo horizontal com diafragma no centro da boca de peixe.	72
Figura 5.13: Síntese do processo de obtenção dos corpos de prova para ensaio de resistência à compressão do colmo	73
Figura 5.14: Regiões selecionadas do colmo.	74
Figura 5.15: a) Lixadeira de bancada. b) Relação métrica das dimensões do colmo.	74
Figura 5.16: Síntese do processo de obtenção dos corpos de prova com para ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular.	75
Figura 5.17: Parâmetros para encaixe tipo boca de peixe. Adaptada de Hidalgo-Lopez (2003). 76	
Figura 5.18: a) Posicionamento da serra copo e do segmento de bambu. b) Furação com serra copo. c) Segmento de colmo com boca de peixe.	76
Figura 5.19: Posicionamento do furo oval.	77
Figura 5.20: a) Cortes no segmento com serra de bancada. b) Retirada dos nós.	78
Figura 5.21: a) Retirada das camadas interna e externa com plaina. b) Polimento no desengrosso.	78
Figura 5.22: a) Corte com serra de bancada das ripas em seções menores. b) Ripas niveladas..	78
Figura 5.23: a) Molde para desgaste da peça. b) Modificação da geometria da seção.....	79
Figura 5.24: Posição crítica do pino com seção oval utilizado no presente estudo.....	79
Figura 5.25: a) Corda feita com fibras 100% algodão. b) Cera de carnaúba em pasta.	80
Figura 5.26: a) Representação esquemática do corpo de prova com colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe. b) Nivelamento viga-pilar antes de aplicada a ligação flexível.....	81
Figura 5.27: Representação esquemática do corpo de prova com colmo horizontal com diafragma no centro da boca de peixe central.	82
Figura 5.28: a) À esquerda forma apenas com anel e à direita com anel, apoio e reforço. b) Representação esquemática dos elementos da forma.	83
Figura 5.29: a) Sikadur 32 + areia aplicado no interior do colmo. b) Sikadur 32 + areia aplicado no exterior do colmo. c) Retirada da fita crepe após secagem.	84

Figura 5.30: Segmentos de 20 mm colados na base do pilar.	85
Figura 5.31: Colmos concretados com bioconcreto de bambu com 45% de biomassa.....	85
Figura 5.32: Colmos fixado no centro da forma de madeira.	86
Figura 5.33: a) Setup do ensaio de resistência a compressão do colmo de bambu. b) Desenho esquemático do posicionamento do LVDT central.	87
Figura 5.34: a) Setup do corpo de prova com internó no centro da boca de peixe. b) Setup do corpo de prova com diafragma no centro da boca de peixe	89
Figura 5.35: Síntese do processo de obtenção dos corpos de prova para ensaio de resistência a tração.	90
Figura 5.36: a) Corpo de prova com ligação flexível. b) Corpo de prova com ligação rígida. ...	91
Figura 5.37: a) Corte com serra copo na primeira parede. b) Corte na segunda parede e pedaço descartado dentro da serra copo. c) Dupla furação no colmo.....	92
Figura 5.38: Peça de bambu posicionada e nivelada.....	93
Figura 5.39: a) Furo realizado no nó. b) Projeto de encaixe com ligação rígida.....	94
Figura 5.40: a) Corte da barra roscada. b) Dobra na barra roscada em seção “U”	95
Figura 5.41: a) Barra roscada com porca e arruela. b) Inserção da barra roscada dobrada em “U”. c) Corpo de prova com ligação rígida finalizado.....	95
Figura 5.42: a) Preparação da amostra com tinta spray branca. b) Tinta preta spray preta borrifada na superfície branca.	96
Figura 5.43: a) Esquema do ensaio de resistência à tração da ligação flexível. b) Esquema do ensaio de resistência à tração da ligação rígida.....	97
Figura 6.1: Espalhamento do Bioconcreto deste estudo.....	101
Figura 6.2: Curvas de tensão <i>versus</i> deformação aos 7 e 28 dias de idade.	102
Figura 6.3: Curva típica carga <i>versus</i> deflexão central da mistura após 28 dias de cura.	103
Figura 6.4: Acabamento liso e sem falhas nas bordas e quinas.....	104
Figura 6.5: a) Diferença de textura entre acabamento grosso e fino. b) Acabamento final com lixamento fino.	105
Figura 6.6: Gráfico tensão <i>versus</i> deformação vertical de cada corpo de prova.	106
Figura 6.7: Resultados do ensaio de resistência à compressão do colmo: a) Gráfico tensão <i>versus</i> deformação lateral do CP1. b) Gráfico tensão <i>versus</i> deformação lateral do CP2. c) Gráfico tensão <i>versus</i> deformação lateral do CP3. d) Gráfico tensão <i>versus</i> deformação lateral do CP4. e) Gráfico tensão <i>versus</i> deformação lateral do CP5.	107
Figura 6.8: a) Fissura visíveis no colmo pós ensaio de resistência à compressão . b) Fissuração do concreto da base.	108
Figura 6.9: a) Gráfico carga <i>versus</i> deformação vertical do CP1. b) Gráfico carga <i>versus</i> deformação vertical do CP2. c) Gráfico carga <i>versus</i> deformação vertical do CP3. d) Gráfico	

carga <i>versus</i> deformação vertical do CP4. e) Gráfico carga <i>versus</i> deformação vertical do CP5.	109
Figura 6.10: Curvas carga <i>versus</i> deslocamento do travessão (inclui a deformação da viga de bambu).....	110
Figura 6.11: Resultados do ensaio com internó no centro da boca de peixe: a) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP1. b) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP2. c) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP3. d) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP4. e) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP5.	111
Figura 6.12: Sequência de abertura típica de fissuras da amostra com internó central.	113
Figura 6.13: Modo de ruptura da viga de bambu e fissura vertical da coluna de bambu mostrando a abertura da boca de peixe.	113
Figura 6.14: Resultados do ensaio com corpos de prova (CP) com diafragma no centro da boca de peixe: a) Gráfico carga <i>versus</i> deformação vertical do CP1. b) Gráfico carga <i>versus</i> deformação vertical do CP2. c) Gráfico carga <i>versus</i> deformação vertical do CP3. d) Gráfico carga <i>versus</i> deformação vertical do CP4.	114
Figura 6.15: Curvas carga <i>versus</i> deslocamento do travessão (inclui a deformação da viga de bambu) do ensaio com corpos de prova (CP) com diafragma no centro da boca de peixe: a) Correspondente ao CP1. b Correspondente ao CP2. c) Correspondente ao CP3. d) Correspondente ao CP4.....	115
Figura 6.16: Resultados do ensaio com corpos de prova (CP) com diafragma no centro da boca de peixe: a) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP1. b) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP2. c) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP3. d) Gráfico carga <i>versus</i> deformação lateral do CP4.	116
Figura 6.17: Sequência da abertura de fissuras da amostra com diafragma no centro.	118
Figura 6.18: Modo de ruptura da viga de bambu e fissura vertical da coluna de bambu para o caso em que carga é aplicada com o diafragma no centro da boca de peixe.....	118
Figura 6.19: Curva típica carga <i>versus</i> deslocamento do travessão do ensaio de tração da ligação flexível.....	119
Figura 6.20: Modo de ruptura típico da ligação flexível estudada.	120
Figura 6.21: Curva típica carga <i>versus</i> deslocamento do travessão do ensaio de tração da ligação rígida.	121
Figura 6.22: Modo de ruptura da ligação rígida estudada.	122
Figura 6.23: Curvas típicas carga <i>versus</i> deslocamento do travessão do ensaio de tração da ligação flexível e da rígida.	123
Figura 6.24: Dados do projeto do abrigo emergencial deste estudo. Adaptado de NBR 6123 (2013).	125

Figura 6.25: a) Coeficientes de pressão externa para um ângulo de 0°. b) Coeficientes de pressão externa para um ângulo de 90°. Adaptado de NBR 6123 (2013).....	126
Figura 6.26: a) Para ângulo 0° hipótese A. b) Para ângulo 0° hipótese B. c) Para ângulo 90°. d) Para ângulo - 90°. Adaptado de NBR 6123 (2013).....	127
Com os coeficientes obtidos foi possível calcular a carga estática equivalente de vento e avaliar a resistência dos elementos estruturais bem como suas ligações no software comercial. A Figura 6.27 apresenta o modelo feito no software.....	128
Figura 6.28: Perspectiva do modelo estrutural.....	129
Figura 6.29: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN da fachada frontal.	130
Figura 6.30: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN da fachada esquerda.	131
Figura 6.31: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN da fachada posterior.	132
Figura 6.32: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN da fachada direita.	133
Os elementos críticos estão indicados na Figura 6.33. A Figura 6.34 apresenta o DMF e o DEN para o elemento cujo estado crítico é o da fibra mais comprimida e a Figura 6.35 mostra o DEN para o elemento com ligação flexível mais tracionada. O estado limite último mais crítico para a fibra mais comprimida ocorreu pela combinação de ações Comb ₈ . Já estado limite último mais crítico para a ligação ocorreu pela Comb ₂	133
Figura 6.34: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN do elemento crítico para compressão.	134
Figura 6.35: DEN, respectivamente, do elemento crítico para ligação em kN.	134
Figura 6.36: Análise para determinar o comprimento de flambagem do colmo.	137
Figura 6.37: Esquema para análise da flexão do pino de aço.....	145

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Fases de realocação de pessoas afetadas e respectivo tipo e período de duração. Adaptado de Marinho (2013)	12
Tabela 2.2: Principais materiais para aplicação em abrigos emergenciais. Adaptado de Rempel (2017)	17
Tabela 2.3: Propriedades mecânicas do bambu <i>Phyllostachys pubescens</i> . Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003)	22
Tabela 2.4: Valores de resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson do bambu inteiro da espécie <i>Guadua angustifolia</i> . Adaptado de Ghavami e Marinho (2005)	23
Tabela 3.1: Propostas de locais para o estudo de implantação dos abrigos.....	46
Tabela 4.1: Dimensões médias dos colmos de bambu desta pesquisa em mm.	49
Tabela 4.2: Valores médios das diferentes zonas de comportamento na compressão uniaxial e coeficiente de variação (% entre parênteses) CE - comportamento elástico, NF - número de fissuras, Pmax – carga máxima, σ - resistência máxima, E – módulo de elasticidade. Adaptado de Gomes (2019)	50
Tabela 4.3: Resultados médios da flexão em três pontos e coeficiente de variação (% entre parênteses). Adaptado de Gomes (2019).....	50
Tabela 4.4: Dosagem do bioconcreto em Kg/m ³	59
Tabela 4.5: Dosagem do concreto em Kg/m ³	62
Tabela 6.1: Características físicas dos colmos de bambu.	98
Tabela 6.2: Valores de massa específica, absorção e teor de umidade obtidos para o agregado de bambu.....	99
Tabela 6.3: Composição química e densidade dos materiais.	100
Tabela 6.4: Valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade com coeficiente de variação em % entre parênteses para diferentes idades.....	102
Tabela 6.5: Valores do módulo de ruptura e módulo de elasticidade com coeficiente de variação em % entre parênteses.	103
Tabela 6.6: Valores geométricos e físicos de cada elemento que compõe a peça pré-fabricada.	105
Tabela 6.7: Valores médios carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), resistência à compressão ($FC0$) e módulo de elasticidades (E) dos resultados com coeficiente de variação em % entre parênteses.	108
Tabela 6.8: Valores médios de carga da primeira fissura (P), da carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da tensão de primeira fissura (σ), da tensão máxima no colmo vertical observada durante o ensaio	

($\sigma_{m\acute{a}x}$) e do m3dulo de elasticidade (E) com carga concentrada nos corpos de prova viga-colmo com intern3 no centro da boca de peixe, sendo o coeficiente de varia33o em % entre par3nteses.	112
Tabela 6.9: Valores m3dios de carga da primeira fissura (P), da carga m3xima ($P_{m\acute{a}x}$), da tens3o de primeira fissura (σ), da tens3o m3xima no colmo vertical observada durante o ensaio ($\sigma_{m\acute{a}x}$) e do m3dulo de elasticidade (E) com carga concentrada nos corpos de prova viga-colmo com diafragma no centro da boca de peixe, sendo o coeficiente de varia33o em % entre par3nteses.	116
Tabela 6.10: Dados para c3lculo do peso pr3prio.	123
Tabela 6.11: Dados para c3lculo da carga distribu3da.	124
Tabela 6.12: Dados para c3lculo da carga din3mica do vento.	125
Tabela 6.13: Coeficientes de press3o e de forma, externos, para paredes de edifica33es de planta retangular. Adaptado de NBR 6123/2013).	125
Tabela 6.14: Valores de C_{pe} para 3ngulo de incid3ncia do vento. Adaptado de NBR 6123 (2013).	126
Tabela 6.15: Composi333es dos casos cr3ticos de carregamento.	128
Tabela 6.16: Combina333es 3ltimas dadas na NBR 8681 (2003).	128
Tabela 6.17: Valores de $k_{mod, 3}$ para colmos secos sem defeitos visuais. Adaptado de Ghavami <i>et al.</i> (2017).	135
Tabela 6.18: Valores de Ψ_6 para o caso A devido ao modo de preparo das amostras. Adaptado de NBR 12655 (2015)	136
Tabela 6.19: Par3metros para c3lculo da resist3ncia 3 compress3o de projeto.	136
Tabela 6.20: Par3metros para o defini33o do pilar quanto a esbeltez.	137
Tabela 6.21: Par3metros para o defini33o da excentricidade.	140
Tabela 6.22: Par3metros para o defini33o da tens3o devido a excentricidade.	141
Tabela 6.23: Par3metros para o defini33o da tens3o de esmagamento do colmo.	142
Tabela 6.24: Resist3ncias caracter3sticas do bambu a partir da resist3ncia caracter3stica 3 compress3o paralela 3s fibras. Adaptado de NBR 16828-1 (2020).	143
Tabela 6.25: Par3metros para verifica33o do cisalhamento do pino de bambu.	143
Tabela 6.26: Propriedades mec3nicas dos a3os para conectores Adaptado de Pfeil e Pfeil (2000).	144
Tabela 6.27: Par3metros para verifica33o do cisalhamento do pino de a3o.	145
Tabela 6.28: Par3metros para o defini33o da tens3o devido a excentricidade. Adaptado de Pfeil e Pfeil (2000).	146
Tabela 6.29: Par3metros para verifica33o da flex3o do pino de a3o.	146

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto e Motivação

Segundo Edwards (2015), “Refugiado” é o termo utilizado para referenciar indivíduos que, devido a conflitos, perseguições, violência de forma generalizada ou situações que impliquem em risco de vida, foram obrigados a deixarem suas residências e em vários casos, também seu país de origem. Dados da ACNUR (2018) revelam que o número de pessoas deslocadas a força é de 68,5 milhões, sendo 25,4 milhões, refugiados.

O número de refugiados no mundo cresceu 50% nos últimos dez anos (ACNUR, 2019). O Brasil é um dos países que mostram substancial aumento no número de refugiados reconhecidos, cerca de 11,231 mil pessoas, segundo ACNUR (2019). Somada a essa questão, o número de pessoas desabrigadas devido a catástrofes ambientais no país também tem aumentado nos últimos 10 anos, segundo Nunes *et al.* (2018). Essas situações mencionadas anteriormente explicam a necessidade de abrigos emergenciais, sejam eles temporários, semipermanentes ou permanentes.

A construção de abrigos emergenciais da assistência aos desabrigados e/ou refugiados. Os abrigos temporários tornam-se permanentes ou semipermanentes devido à demora de resolução dos conflitos. No entanto, devido ao tempo de uso dessas edificações ter sido estendido, houve a necessidade de projetar e criar soluções mais duráveis que as atuais utilizadas nos acampamentos, em geral barracas de poliéster. A vida útil desses abrigos é finita e o descarte desses materiais que os compõem é nocivo ao meio ambiente, o que torna a busca de alternativas ecológicas mais adequada para essa aplicação. Dentre as soluções (quanto a materialidade) que já vem sendo empregadas no século XXI, destacam-se os biomateriais, sendo o bambu o de mais ampla aplicação.

O uso do bambu nas construções é uma alternativa renovável e de rápido crescimento e, portanto, ecológica. Por ser um material biológico, o bambu precisa de tratamento adequado para ser aplicado e comercializado de forma competitiva (Tiburtino *et al*, 2016). Colmos de bambu como estrutura de edificações são hoje usados como solução rápida de projetos devido a diversidade de portes e espécies disponíveis. A escola John Hardy's Green School em Bali, Indonésia foi projetada para ser um centro de referência em sustentabilidade para crianças. Sua estrutura é feita em colmos de bambu e também é utilizado capim piaçava na construção (MARRA e ALVES, 2018).

O bambu também é matéria prima de diversas indústrias brasileiras, principalmente no setor de marcenaria e da construção civil. O processamento da matéria prima bambu nessas indústrias resulta em uma considerável quantidade de resíduos, que pode chegar entre 40% e 60% de seu total. Esses resíduos podem se tornar, portanto, parte integrante dos elementos construtivos de abrigos emergenciais, como chapas de vedação em bioconcreto. O bioconcreto pode contribuir para o conforto térmico da edificação, já que este possui baixa condutividade térmica, segundo Amziane e Collet (2017) e, quanto maior é a concentração de biomassa, menor é a condutividade térmica.

Tanto Pereira e Beraldo (2007) como Andreola (2017) afirmam que partículas de resíduos de bambu podem ser empregadas em bioconcretos na construção civil mantendo propriedades físicas e mecânicas adequadas para aplicação. A indústria do cimento é uma das maiores emissoras de carbono na atmosfera. Segundo Andreola *et al.* (2019), o cimento no bioconcreto de bambu pode ser substituído parcialmente por metacaulinita e cinza volante, o que reduz as emissões de CO₂ na atmosfera.

O bambu e o bioconcreto de bambu são alternativas consideráveis para a construção de um sistema construtivo modular pré-fabricado para abrigos emergenciais semipermanentes, por terem bom desempenho mecânico, térmico, baixa pegada de carbono e leveza, além de permitirem um projeto de abrigo emergencial de fácil e rápida montagem e desmontagem. Este trabalho propõe um sistema construtivo com estrutura em colmos de bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* e vedação em bioconcreto de bambu aplicado ao projeto de abrigo emergencial leve. O projeto permite a flexibilização tanto da planta arquitetônica quanto de seus tipos de usos devido a busca pelo desenho universal, o qual também propicia a adaptabilidade da edificação quanto aos diversos tipos de clima tornando sua implantação plural.

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho consiste em desenvolver um sistema construtivo pré-fabricado modular em biomateriais, tanto para estrutura como fechamento, que se adapte as diversas nuances de um abrigo emergencial.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Projetar um sistema construtivo composto por peças pré-fabricada com estrutura em colmos de bambu e fechamento em bioconcreto com detalhamento das ligações e encaixes.

- Concepção de um projeto de abrigo emergencial desmontável, do tipo Pacotes (Flat Pack), utilizando esse sistema construtivo, cujo partido arquitetônico é o uso da modulação e de biomateriais que se adaptem ao tipo de uso da edificação e variações climáticas;

- Caracterização física e mecânica da espécie de bambu escolhida (Mossô) e do bioconcreto contendo 45% de biomassa de bambu, cimento Portland e pozolanas (cinza volante e metacaulinita) para compor a peça pré-fabricada;

- Estudo do comportamento mecânico do encaixe tipo boca de peixe, tanto com o diafragma do colmo horizontal no eixo da boca de peixe quanto com o internó central na mesma posição;

- Estudo do comportamento mecânico das ligações (rígidas e flexíveis) entre colmos de bambu que constituem a estrutura do abrigo: colmos verticais que compõem a peça pré-fabricada e colmos horizontais que suportam a cobertura do abrigo;

- Análise estrutural do abrigo emergencial, dos elementos que o compõem e suas ligações utilizando o software de modelagem numérica SAP 2000.

1.3 Organização da pesquisa

A estrutura do presente trabalho é composta e apresentada em sete capítulos.

Capítulo 1: São introduzidos o contexto, a motivação e a organização do trabalho, bem como seus objetivos.

Capítulo 2: É feita uma revisão bibliográfica sobre abrigos emergenciais, sua classificação, tipologia organização espacial, materialidade e pré-fabricação com biomateriais para a construção civil. É estudada a aplicação de bambu em matriz cimentícia e suas propriedades. Apresentação do bambu, sua constituição, propriedades, tipos de ligações e aplicações em abrigos emergenciais.

Capítulo 3: São apresentados o projeto de abrigo emergencial, a seleção de materiais, detalhamentos dos componentes do sistema, características dos possíveis locais de escolha para inicial implantação. Métodos e normas para projeto e análise estrutural do abrigo.

Capítulo 4: É apresentada a caracterização física e mecânica dos materiais empregados para a constituição das peças pré-fabricadas. São detalhados os procedimentos e testes realizados no lote de bambus, na produção da biomassa vegetal, na produção do bioconcreto e na produção do concreto convencional.

Capítulo 5: É descrita a produção e metodologia para caracterização mecânica dos elementos que compõem a peça pré-fabricada e das ligações.

Capítulo 6: São apresentados os resultados obtidos com a metodologia empregada: propriedades mecânicas dos colmos de bambu, do bioconcreto, do sistema pré-fabricado e estrutura do abrigo com os dados produzidos.

Capítulo 7: São apresentadas conclusões sobre os resultados do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Histórico de Habitações Transportáveis

Segundo o Michaelis (2020), abrigo é um ambiente artificial ou natural coberto que oferece proteção ou refúgio contra danos físicos, ataques ou perigo.

Há cerca de dois milhões de anos, no período Paleolítico (Idade da Pedra Lascada), o homem primitivo era adaptado ao clima tropical e disputava com os animais abrigo em cavernas quando tinha necessidade. Em 10000 a.C., após o período glacial, devido a alterações climáticas severas e escassez de alimentos, o homem muda seu comportamento pela sua sobrevivência, criando os primeiros abrigos que, segundo Kronenburg (1995), poderiam ser o início de uma definição de assentamentos temporários e permanentes. A migração era primordial para a busca de alimentos até que houvesse a evolução no domínio da produção para subsistência.

O homem pré-histórico dependia da caça, da pesca e da coleta de vegetais e frutos para sobreviver. No entanto, a disponibilidade de alimento não necessariamente era próxima aos locais de abrigo, levando a necessidade de moradias transitórias. Os assentamentos permanentes surgem com o início e evolução da agricultura e pecuária para subsistência.

As primeiras cabanas ou tendas encontradas datam do período Paleolítico, há cerca de 12000 a.C. e utilizam como principais materiais de construção peles e ossos de animais. Eram desmontáveis, leves e de fácil remontagem, como mostra a Figura 2.1. Pauletti *et al.* (2003) afirma que segundo vestígios de sítios arqueológicos na Ucrânia, a tenda construída com peles e ossos é o primórdio da forma de moradia do homem.

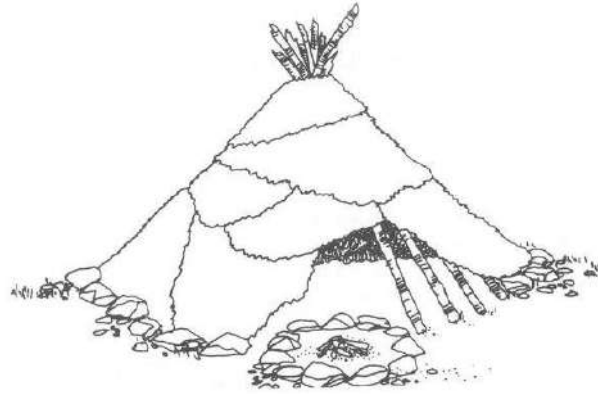


Figura 2.1: Reconstrução de uma tenda Paleolítica a partir de vestígios encontrados.
Fonte: Kronenburg, 1995, apud Anders, 2007, p.44

No Período Neolítico (8.000 anos a.C.), com a descoberta da agricultura e da domesticação de animais, a maioria das comunidades tornaram-se permanentes. No entanto, algumas ainda permaneceram nômades por questões culturais ou de necessidade. Em ambos os casos, ocorreram mudanças significativas em suas construções ao longo dos anos.

Os Iglus (ou *inuits*), moradias indígenas no Ártico, fazem parte do conjunto de primeiras moradias temporárias que evoluíram da tenda Paleolítica. São feitos com blocos de gelo durante o inverno e de ossos e peles durante o verão, podendo acomodar até 20 pessoas, como exemplifica a Figura 2.2. Construídos há cerca de 3000 anos, os Iglus possuem forma arredondada, a qual evita que o calor interior se concentre nos cantos e uma fogueira no centro de seu interior que espalha o calor uniformemente, mantendo sua temperatura interna (Furukawa, 2012).



Figura 2.2: Exemplos de Iglus: a) No inverno (Oliver, 2003) e b) No verão. Fonte: Goetze, 2012, apud Marinho, 2013, p.44

Entre as formas vernaculares de habitações desmontáveis e portáteis destaca-se a “Tipi”, tendas dos índios norte-americanos no deserto as quais possuíam planta livre, forma cônica e estrutura principal com três ou quatro varas de madeira, complementadas por varas secundárias amarradas na parte de cima, como mostra a Figura 2.3. A cobertura era feita em pele animal e sua construção poderia ser feita em 20 minutos, segundo estimativa de Anders (2007).

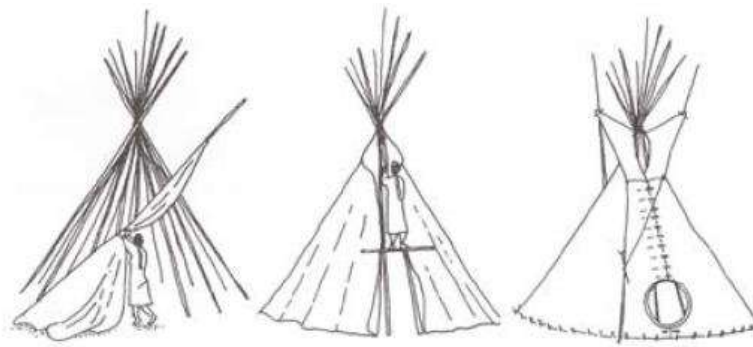


Figura 2.3: Esquema de construção de uma tenda “Tipi”.
Fonte: Kronenburg (2013).

Outro exemplo de abrigo transportável tradicional é o *Yurt*, típico das tribos pastoris da Ásia, que embora desmontável, possui uma sólida estrutura circular treliçada e articulada em madeira com pé direito baixo e paredes revestidas com uma faixa tensora presa a porta. A cobertura abobadada era feita com varas de madeira presas a um anel e coberta por lã ou feltro, conforme mostra a Figura 2.4.

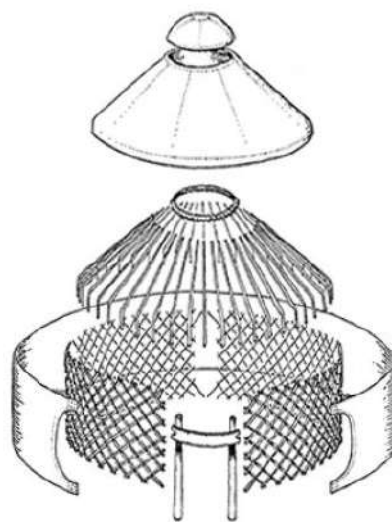


Figura 2.4: Esquema de construção do *Yurt*.
Fonte: Kronenburg (2013).

Os *Yurts*, embora primitivos, eram projetados com conceitos de conforto térmico em habitação. Durante o verão, ar mais fresco entrava pela parte de inferior da cabana, e subia à medida que aquecia, saindo então pela abertura superior. Já no inverno as aberturas eram fechadas e mais camadas de revestimento eram aplicadas, ampliando o isolamento (BIOCLIMÁTICA A&S, 2016).

A partir da “Tipi” e do *Yurt* foram introduzidos alguns conceitos para projetar um abrigo emergencial utilizados inclusive no pós-moderno, como a montagem rápida e fácil, adequação ao clima com técnicas de conforto ambiental, adaptabilidade ao contexto local na escolha dos materiais, segurança e flexibilidade de usos através da planta livre.

As construções militares segundo Kronenburg (2014) também influenciaram as edificações desmontáveis, construindo abrigos portáteis no século XIX para os soldados em trabalho de campo, bem como instalações médicas. Anders (2007) afirma, no entanto, que no século XX, com o aumento da população e de pessoas alistadas no serviço militar, por causa da Primeira Guerra Mundial, somado a falta de materiais convencionais disponíveis por questões de logística e ao impacto das novas tecnologias armamentistas houve um grande desenvolvimento de novos materiais para abrigos emergenciais. No início os soldados eram abrigados em barracas, mas já se pensava no uso de abrigos portáteis baseados nos de caça do inverno europeu, porém todos eram em madeira pesada e de difícil transporte. O abrigo desenvolvido pelo Capitão Nissen, que pode ser visto na Figura 2.5, o “Nissen Hut”, substituiu todos os abrigos já feitos anteriormente (KRONENBURG, 2014)

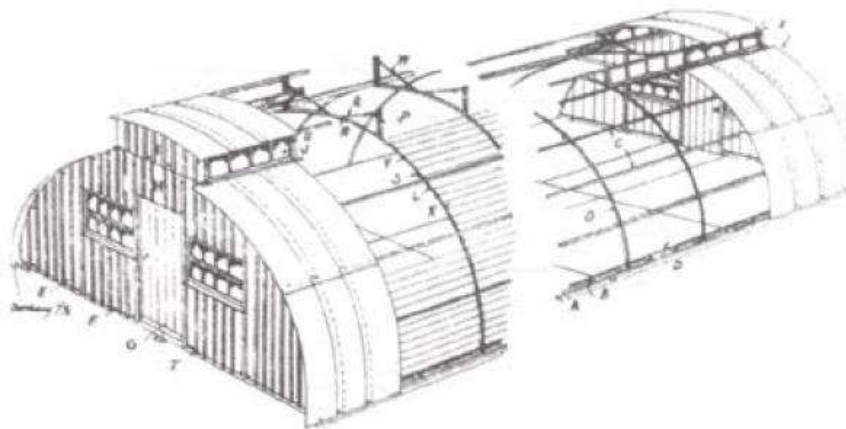


Figura 2.5: Abrigo “Nissen Hut”, utilizado na Primeira e Segunda Guerra Mundial.
Fonte: Kronenburg (2014)

O “Nissen Hut”, que podia ser montado em até 4 horas por 4 homens, tinha 8,2 m de comprimento e 4,9 m de largura e era composto por uma cobertura semicircular, dois fechamentos, duas janelas e uma porta. As paredes e o piso eram, respectivamente, de chapas de ferro corrugadas e de madeira, ambos intercambiáveis apoiados sobre berços longitudinais. Era modulado, facilitando assim sua montagem em campo.

Como o aço era destinado a indústria armamentista durante a Segunda Guerra Mundial, gerou-se uma necessidade de pesquisas sobre novos tipos de materiais alternativos para construção de abrigos. Soluções como painéis de concreto foram descartadas por causa da dificuldade de transporte. O período pós-guerra fomentou a pesquisa de novos materiais e tecnologias para a construção de abrigos, mas mantendo os mesmos princípios, como adaptabilidade ao local de implantação, flexibilização de layout e forma arquitetônica, fácil transporte e montagem e fabricação barata (ANDERS, 2007).

Entre as novas tecnologias desenvolvidas, a técnica da pré-fabricação se destaca por permitir a produção em larga escala com materiais empregados mais adequados. Diversos arquitetos da época criaram abrigos portáteis e temporários, como Buckminster Fuller, o qual projetou diversos abrigos militares durante a guerra, mas com objetivo de aplicar o mesmo princípio da pré-fabricação em habitações no pós-guerra. Um exemplo de projeto significativo realizado por ele é a “Dymaxion House”, que embora nunca construída atraiu a atenção popular.

Entre os anos de 1960 e 1970, Archigram, um grupo de arquitetos ingleses, projetou diversas edificações, adaptáveis e temporários, inspirados pelo trabalho de Cedric Price, que aplicava conceitos industriais à arquitetura a fim de conseguir flexibilidade e portabilidade. Em 1965, segundo Junqueira (2011), o grupo destacou unidades autônomas flexíveis e adaptáveis em seus projetos.

Desde então arquitetos e designers tem trabalhado em novos materiais e pensado principalmente na questão da transportabilidade, montagem e desmontagem e adaptabilidade em situações emergenciais.

A partir da década de 1990, foram intensificadas as perseguições político-religiosas, bem como alterações climáticas que levaram a catástrofes naturais. O arquiteto Shigeru Ban, que pesquisa construções alternativas, fez em 1995 na cidade de Kobe (Japão) a “Paper Log House” para a população desabrigada após um terremoto. Segundo Archdaily (2020), era composta por uma base elevada de engradados plásticos de cerveja

preenchidos com areia ensacada, paredes de tubos de papel com 4 mm de espessura e 106 mm de diâmetro e a cobertura de lonas plásticas, que permitiam a circulação de ar. O isolamento era feito com uma fita adesiva esponjosa à prova de água colocada entre os tubos de papel. Segundo Archdaily (2020), o custo do abrigo de 52 m² é inferior a US\$ 2000 e além de fácil desmontagem, os materiais poderiam ser facilmente ser descartados ou reciclados.

A Figura 2.6 mostra o abrigo implantado. Uma das vantagens desta construção é a possibilidade de reaproveitamento dos materiais e adequação conforme contexto cultural e climático. Este mesmo abrigo implantado na Turquia e Índia, nos anos de 2000 e 2001, respectivamente, sofreram alterações. As dimensões do abrigo na Turquia foram alteradas, assim como o isolamento térmico precisou ser mais efetivo. Já o da Índia foram alterados os sacos de areia da base por escombros dos edifícios destruídos e adicionado um trançado de bambu para as vedações, porém mantendo a estrutura tubular de papel. Segundo Shigeru Ban Architects (2001) e Ted (2013) também foi adicionado a este último varandas para conforto ambiental e incentivar o convívio social.



Figura 2.6: Abrigo emergencial *Paper Log House*.
Fonte: Archdaily (2020).

No Brasil, partir da década de 2010, destacam-se pesquisas sobre a aplicação de biomateriais na construção civil. Marinho (2013) propõe um abrigo emergencial composto por painéis sanduíches com as faces em placas recicladas de tetrapak e o núcleo em bambu fatiado em alvéolos (estrutura em colmeia), unidos por resina vegetal poliuretana extraída da mamona. No entanto, as construções pré-fabricadas no Brasil

ainda são vistas com ressalvas em relação a qualidade e a estética, embora o país tenha sido um dos pioneiros, em 1950, a aprovar uma norma de Coordenação Modular, a NB-25R. As indústrias brasileiras de materiais tampouco têm um padrão dimensional o que gera maior quantidade de resíduos e dificuldade de planejamento. Segundo Marinho (2013) a construção civil brasileira ainda constrói de forma artesanal no canteiro de obras, aliando elevado desperdício à baixa produtividade, o que se reflete também na produção de abrigos emergenciais.

Na Europa, quanto a aplicação de biomateriais na construção, empresas como a Eternit e a Investwood, localizadas na França e em Portugal, respectivamente, já comercializam painéis compósitos constituídos por uma mistura de partículas de madeira e cimento com diversas aplicações, como: fachadas, paredes divisórias, revestimento de paredes, pavimentos interiores, forros interiores e exteriores e mobiliário interno e externo.

A partir desta perspectiva histórica nota-se a importância do uso de diretrizes projetuais e construtivas adequadas no projeto de abrigos emergenciais sendo algumas delas descritas abaixo:

- Adaptabilidade aos locais de implantação;
- Flexibilidade do espaço;
- Conforto ambiental;
- Mobilidade (quanto ao transporte e montagem);
- Integração social.

2.2 Classificação e tipologia

Hoje ainda não existe um direito explícito a um abrigo, porém é implícito no artigo 25 da Declaração Universal dos Direitos Humanos (1948). Quanto mais envolvidos estiverem os usuários na construção de seu abrigo, maior será sua sensação de pertencimento.

Segundo Marinho (2013) o processo de realocação de pessoas afetadas consiste em quatro fases, que podem ser vistas na Tabela 2.1, bem como o respectivo período.

Tabela 2.1: Fases de realocação de pessoas afetadas e respectivo tipo e período de duração. Adaptado de Marinho (2013)

Período	Pré-desastre	Imediata (Fase 1)	Reabilitação (Fase 2)	Reconstrução (Fase 3)
	Prevenção		0 a 5 dias	6 dias a 90 dias
Tipo de Habitação	Informativa	Tendas, escolas, ginásios	Abrigos Temporários	Habitações Permanentes

A partir da análise de trabalhos realizados por arquitetos e designers ao longo de várias décadas, é possível compreender que há duas linhas de pensamento, segundo Anders (2007) quanto a soluções de abrigo:

- Intervenção mínima na dinâmica dos espaços emergenciais, para não criar dependências externas e somente suporte à vida – os abrigos neste caso são geralmente feitos com materiais e técnicas disponíveis no local;

- Maior intervenção e planejada, às vezes a longo prazo. Pode gerar dependência de uma assistência temporária – em geral os abrigos neste caso possuem um custo mais elevado, porém mais tecnologia.

A partir dessas duas linhas de pensamento os abrigos emergenciais podem ser classificados em dois tipos:

- Construções *in loco*: abrigos construídos com materiais locais disponíveis, que podem ser reciclados após período de emergência, o que torna seus custos mais baixos.

- Fornecimento de Kits: devem ser abrigos menores, duráveis, leves e de aceitabilidade cultural, podendo ser divididos em quatro categorias conforme portabilidade e montagem: Módulos (*Module*), Pacotes (*Flat-pack*), Tensionados (*Tensile*) e Infláveis (*Pneumatic*).

Módulos (*Module*)

São compostos por elementos que juntos formam uma unidade modular, podendo ser conectadas à outras unidades conforme necessidade de uso. As unidades são pré-fabricadas e transportadas inteiras até o local de destino, bastando apenas interligá-las as redes de água e esgoto, por exemplo. Em geral são feitas de madeira e/ou aço e em alguns

casos fibras e plástico. A Figura 2.7 mostra um exemplo de Module, a *Port-a-back House*, projetada pelo Atelier Workshop utilizando como base um único contêiner.



Figura 2.7: *Port-a-back House*.
Fonte: Archdaily (2013).

Pacotes (*Flat-pack*)

São construções formadas por componentes modulares pré-fabricados que podem ser conectadas a outras unidades, ampliando seu espaço. Esses abrigos são transportados desmontados em pacotes da indústria até o local de implantação. Podem ter montagens de diferentes níveis de complexidade, o que permite flexibilidade e adaptabilidade. O transporte também é facilitado se comparado ao *Module* por possuir dimensões menores, o que permite acesso a regiões mais adversas. São de Madeira e/ou aço e na última década não só em fibras e plástico como também em materiais alternativos como bambu e papel. Um exemplo dessa categoria é o Better Shelter, que pode ser visto na Figura 2.8,. feito pela Fundação Ikea e a UNCHR, que consiste em um quadro de aço revestido com isolamento de painéis poliméricos leves e montados em menos de 4 horas (LYNCH, 2017).



Figura 2.8: Abrigo Better Shelter.
Fonte: Lynch (2017).

Tensionados (*Tensile*)

Caracterizam-se como estruturas leves desmontadas compostas por armações rígidas que sustentam membranas tensionadas. As armações são feitas de aço ou alumínio e as membranas de lona ou poliéster coberto com PVC. A Figura 2.9 mostra um exemplo de abrigo *Tensile* feito para a ANCUR.



Figura 2.9: Abrigo de emergência com estrutura de papel em Ruanda.
Fonte: Archdaily (2020).

Infláveis (*Pneumatic*)

São estruturas leves e de fácil transporte compostas por membranas sob pressão, insufladas com ar. O suprimento de ar deve ser constante, o que pode gerar esvaziamento acidental em casos de furos ou falhas no fornecimento de ar. Segundo Marinho (2013), seu uso deve ser evitado em locais sujeitos a ventos fortes, devido a vulnerabilidade ao carregamento. O abrigo inflável TAG L, exibido na Figura 2.10, é resistente à água e pode ser usado em diversos tipos de terreno. São necessárias duas pessoas para transportá-lo e apenas uma para montagem, que pode ser realizada em 5 minutos. A barraca é feita de um tecido revestido de PVC resistente ao fogo e com proteção UV. A cobertura e o tapete são soldados com alta frequência para formar uma peça (LOSBERGER RDS, 2013).



Figura 2.10: Abrigo inflável modelo TAG L.
Fonte: Losberger rds (2013)

2.3 Organização espacial, programa arquitetônico e materiais utilizados em abrigos emergenciais

O projeto dos abrigos emergenciais em um acampamento de desabrigados deve seguir algumas premissas básicas quanto ao seu programa arquitetônico. O programa arquitetônico refere-se ao conjunto sistematizado de necessidades para determinado uso de uma construção, seja área edificada ou livre. Alguns ambientes são necessários nos acampamentos, entre eles:

- Dormitórios – distribuição por famílias ou por sexo;
- Sanitários masculinos e femininos – pode ser comunitário, por unidade ou banheiro químico;
- Cozinha – pode ser comunitária ou por unidade;
- Refeitório – em geral comunitário;
- Almojarifado;
- Administração;
- Lavanderia – em geral comunitária;
- Área para recreação.

A Coordenadoria Estadual De Defesa Civil (2001) afirma que o local escolhido para implantação do acampamento em situação de emergência deve ser seguro, em alguns casos fora da área do desastre ou perseguição, de fácil acesso, com condições de higiene e saúde pública e com água potável, gás, luz e meios de comunicação. A implantação dos abrigos emergenciais no terreno deve ser analisada caso a caso, segundo a incidência solar e dos ventos, a fim de garantir o conforto ambiental da edificação. A Figura 2.11 mostra um típico zoneamento de acampamento emergencial.



Figura 2.11: Típica disposição de um acampamento emergencial.
Fonte: Bellini (2018)

O fornecimento de energia vem de cidades vizinhas ou através de geradores. Mas alguns acampamentos como o de Al Zaatari, na Jordânia, usam energia solar, o que seria o ideal, obtendo abrigos inteligentes e o mais autossuficientes possível. São utilizados Hospitais e escolas em cidade vizinhas, mas professores e médicos que façam parte do acampamento podem continuar trabalhando na comunidade (Bellini, 2018).

Na situação ideal, cada acampamento possui uma fonte de água. Se não for possível, caminhões-pipa o abastecem. Os alimentos são doados por agências parceiras, porém se o solo for fértil, hortas comunitárias são incentivadas, gerando atividades internas. Já a segurança vem de autoridades do governo local, embora moradores possam participar.

Em um acampamento de desabrigados em situação emergencial, há abrigos com distintas tipologias de durabilidade devido a demanda não ser estática. A primeira moradia consiste em tendas emergenciais leves de durabilidade temporária, em geral de dimensões menores, que abrigam até duas famílias. Posteriormente, conforme a demanda, são substituídas por abrigos semipermanentes, em função do tempo que a família ocupante precisará ficar alocada.

Segundo Marinho (2013), a dimensão recomendada para um abrigo deve ter como base 3,5 m² de área coberta por pessoa. Alguns abrigos já implantados variam de 9 m² a 74 m² conforme a necessidade dos habitantes, continuidade, logística, orçamento, políticas dos locais de implantação e normas de acolhimento. Conforme afirma a The Un Refugee Agency (2007, p. 216 apud JESSÉ, 2015, p. 51), a dimensão e organização dos módulos na implantação é consequência das variadas escalas do acampamento. As escalas podem ser: Familiar (1 família - 4 a 6 pessoas), Comunidade (16 famílias - 80 pessoas), Bloco (16 comunidades - 1.250 pessoas), Setor (4 blocos - 5.000 pessoas) e Acampamento (4 setores - 20.000 pessoas).

O indicador de qualidade do abrigo não necessariamente é a sua maior dimensão, mas sim sua adaptabilidade. Entre os materiais recomendados para a construção dos abrigos está o bambu, a madeira e o aço, pois além de menor custo, apresentam fácil transporte, construção, e maior flexibilização de planta se comparados a paredes de alvenaria (CORSELLIS, 2009).

Os materiais utilizados em abrigos emergenciais podem ser classificados como convencionais, não convencionais e biomateriais, conforme suas características. Os

materiais convencionais são industrializados e em geral exigem uma grande quantidade de energia para sua fabricação e manuseio. O aço, por exemplo, segundo Barbosa (2005) para ser produzido precisa chegar a temperaturas por volta de 1800 °C. Além disso geram grandes quantidades de resíduos e seu descarte inadequado se transforma em problemas ambientais. Também emitem diversos gases que contribuem para o efeito estufa em seu processo de produção.

No entanto, segundo Rempel (2017), muitos destes materiais podem ser reciclados e reutilizados, transformando-os em novos produtos, chamados de materiais alternativos. Porém, não são uma alternativa tão ecológica se comparados aos biomateriais, já que possuem alto consumo energético para sua produção. Os biomateriais são matérias primas compostas por resíduos que apresentam baixo consumo energético para sua obtenção, geram uma quantidade mínima resíduos em seu processamento e são renováveis e recicláveis. A Tabela 2.2 aponta os principais materiais a serem empregados em abrigos emergenciais e seu tipo de aplicação.

Tabela 2.2: Principais materiais para aplicação em abrigos emergenciais. Adaptado de Rempel (2017)

Aplicação	Classificação dos materiais		
	Convencionais	Não convencionais	Biomateriais
Estrutura	Aço		Madeira
	Tubo de PVC	Alumínio	Tubos de papelão
	Concreto		Bambu
Vedação	Lona de PVC	Tecido Reciclável	Bioconcreto
	Lona de Fibra de vidro com polímero	Lona de Polietileno de baixa densidade (PE)	Lona Eco Juta /Algodão e Lona de Polietileno de baixa densidade (PE)

2.4 Bambu

Os bambus são seres vivos pertencentes taxonomicamente ao reino vegetal, a família *Poaceae* e a subfamília *Bambusoideae*, e são divididos em duas grandes tribos: bambus herbáceos ou *Olyrodae* e bambus lenhosos ou *Bambuseae* (Londoño & Clark, 2004). Também é conhecida como a família das gramíneas. Os bambus nativos podem

ser encontrados em regiões de clima temperado, tropical e subtropical. A Figura 2.12 mostra geograficamente onde são cultivados os bambus no mundo e o continente americano como o maior deles. Totalizam 90 gêneros e 1100 espécies, distribuídas desde a 51° de latitude Norte (Japão) até 47° latitude Sul (Chile) e desde o nível do mar até 4300 metros de altitude, reportada nos Andes equatorianos, por exemplo (TERRA, 2007).

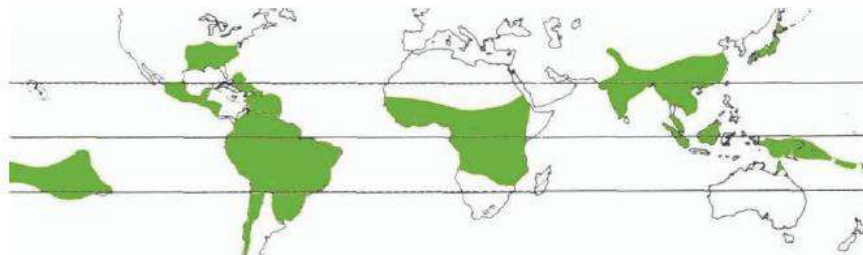


Figura 2.12: Distribuição geográfica de bambus no mundo. Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003).

Existem em torno de 50 gêneros e 1.300 espécies de bambu no Brasil, sendo 34 gêneros e 232 espécies de bambus nativos, que são em sua maioria enquadradas na categoria de ornamentais (FILGUEIRAS e GONÇALVES, 2004).

Segundo Villegas (2005), ainda não há dados que comprovem áreas cobertas por plantações de bambu no Brasil. Através de imagens de satélite, estima-se que 11% de cada Km² sejam de bosques cobertos por gramíneas, estimando no mínimo 11 milhões de hectares existentes na América Latina. A Figura 2.13 mostra um croqui com a distribuição de bambu no território brasileiro e consequentemente explicam a potencialidade de cada região.



- (a) Biomassa para Usinas termoelétricas;
- (b) Maior reserva natural de bambus nativos;
- (c) Tecnologias instaladas e indústria de papel;
- (d) Transformação de cultivo de canaviais para atividades incluindo cultura de bambu;
- (e) Diversidade de espécies e zona com potenciais estudos sobre o tema.

Figura 2.13: Distribuição do bambu no território brasileiro. Adaptado de Fialho *et al.* (2005).

2.4.1 Características anatômicas

O bambu é composto por três regiões: basal, intermediária e apical, como mostra a Figura 2.14. Apresenta uma forma cônica com maior espessura na região basal e afunila-se conforme aproxima-se da região apical. O colmo de bambu tem a função de sustentar a parte arbórea da planta, além de proteger os vasos condutores de seiva. Em termos de aproveitamento, é a parte mais importante deste vegetal (GRECO e CROMBERG, 2011).

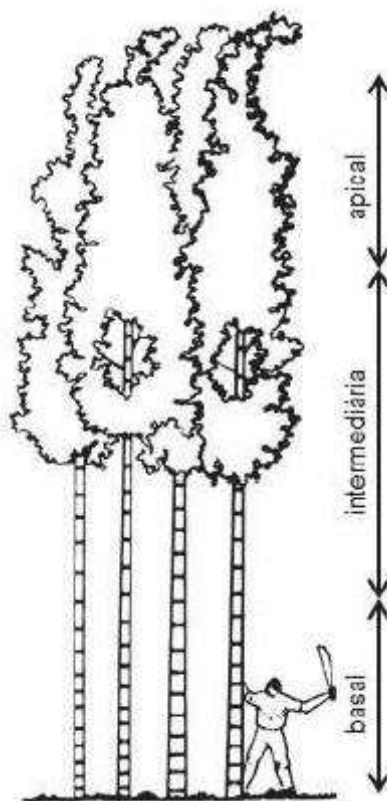


Figura 2.14: Regiões do bambu. Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003).

O colmo do bambu já nasce em seu diâmetro definitivo ao brotar do rizoma e permanecerá com essa dimensão por toda a sua vida. O sistema subterrâneo é composto pelos rizomas e raízes com formas similares ao colmo do bambu, apresentando sequencias de entrenós ocos, conforme afirma Hidalgo-Lopez (2003). A idade do bambu contribui para a sua função final e, segundo Greco & Cromberg (2011), quanto maior for a idade antes do corte, mais rígido e resistente o colmo será. A Figura 2.15 mostra a relação entre idade e a função que o bambu pode exercer, bem como os constituintes do bambu e as regiões do colmo.

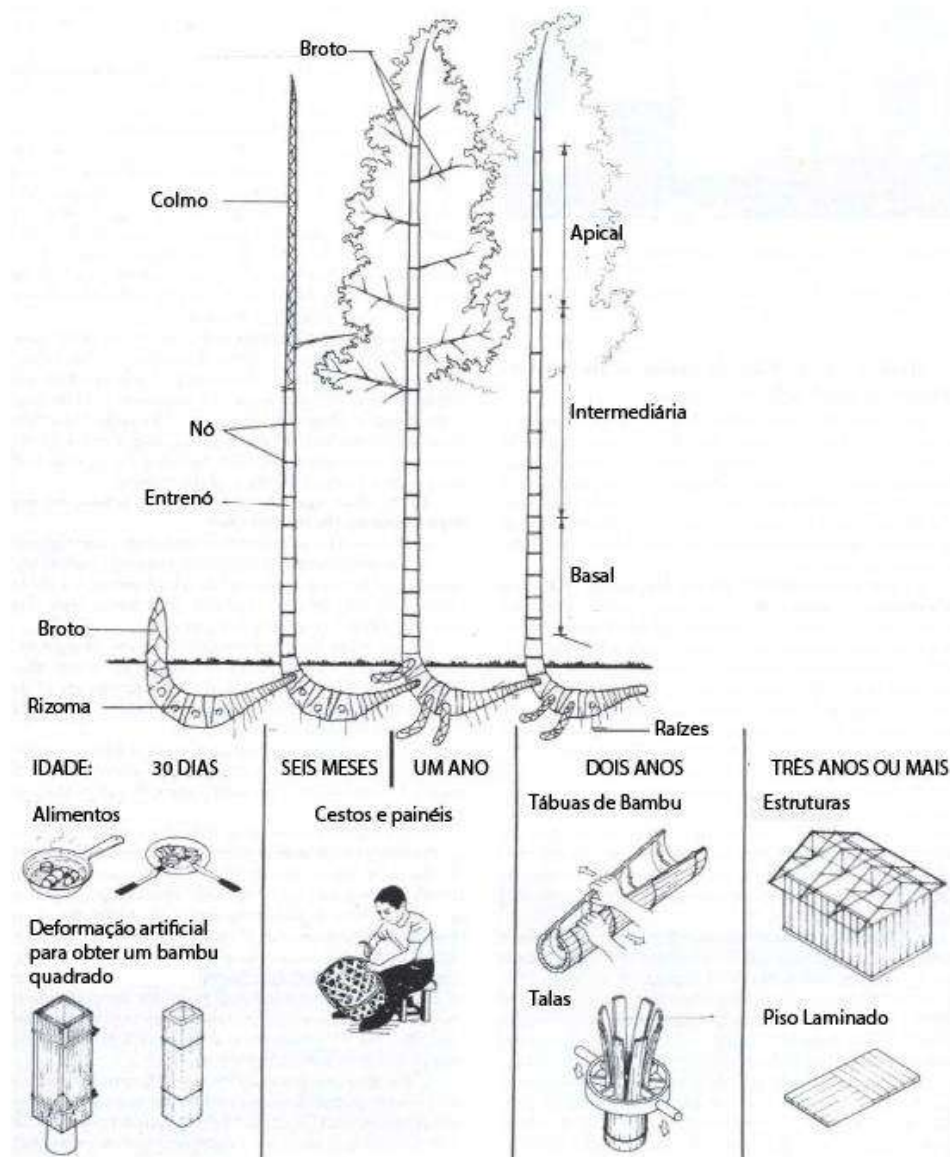


Figura 2.15: Regiões do bambu e sua relação idade/função. Fonte: Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003)

A parede do colmo apresenta divisões com características distintas, que podem ser vistas na Figura 2.16. A camada 1 é a mais externa do colmo, chamada epiderme e tem a função de revestimento. As células epidérmicas estão sobrepostas, não deixando espaços intercelulares. Essa característica é o que fortalece essa camada externa. A camada 2 é a Derme, que possui células grossas e lignificadas. Segundo Hidalgo-Lopez (2003) amortecem e contribuem para a elasticidade do colmo, impedindo que ele seja inflexível e frágil. A camada 3 é o tecido base entre a camada intermediária e central, formada pelo material lenhoso. A camada 4 são os feixes vasculares também chamada de parede interna do colmo.

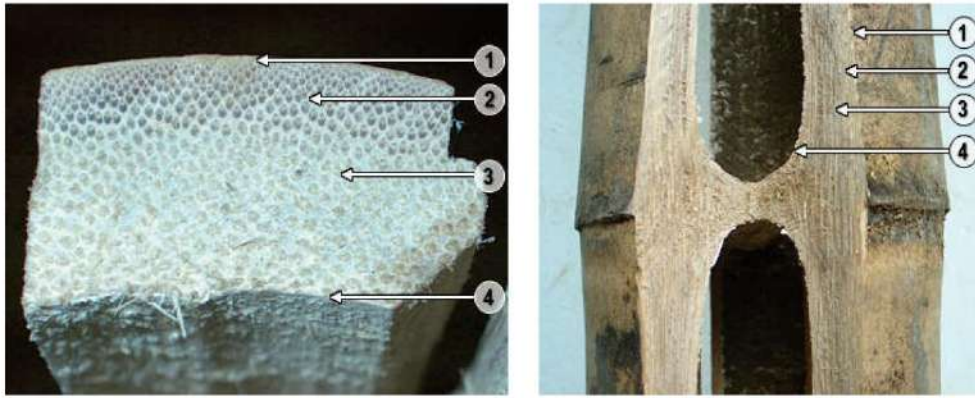


Figura 2.16: À esquerda parede no sentido transversal e à direita no sentido longitudinal.

Fonte: Andreola (2017)

2.4.2 Propriedades físicas, mecânicas e térmicas

As propriedades físicas com maior grau de importância para aplicação em engenharia e arquitetura são teor de umidade e massa específica pois interferem diretamente nas propriedades mecânicas do material.

Colmos maduros, até uma idade de 6-7 anos, apresentam menor teor de umidade que os mais jovens. Recém cortados, segundo Hidalgo-Lopez (2003) apresentam teor de umidade entre 40% e 150% e constante ao longo de seu comprimento. Já os colmos maduros (de até 6-7 anos) apresentam valores mais elevados na região basal e decrescem em direção a região apical. O teor de umidade dos nós é menor que nos entrenós. Hidalgo-Lopez (2003) também afirma que na parte interior do colmo o teor de umidade é maior e decresce em direção à casca. Segundo Da Silva (2019) quanto maior é o teor de umidade, menor é o módulo de elasticidade, resistência à compressão, tração, cisalhamento e flexão paralela às fibras. Quando o teor de umidade diminui, a angulação reta dos vasos varia, resultando no aumento destas propriedades (BERNDSSEN, 2008).

Segundo Bai (1996), a massa específica aparente do bambu varia de 0,5 a 0,9 g/cm³ e está interligada a área do colmo onde foi retirada a amostra. Quanto mais próximo a camada externa, maior será o valor da massa específica aparente devido a maior concentração de fibras nessa região. Solo fértil, clima úmido e quente favorecem o desenvolvimento do colmo. Em solos áridos com clima seco e temperaturas baixas, o

bambu possui forma mais delgada, com feixes fibrovasculares densos e altas taxas de tecido, o dá uma maior massa específica (HIDALGO-LOPEZ, 2003).

As propriedades mecânicas também dependem de fatores como espécie, idade de corte do colmo, ausência ou presença de nós, localização da amostra no colmo. A Tabela 2.3 apresenta alguns exemplos de propriedades mecânicas de bambu Mossô. Segundo Pereira (2012), a idade ideal para uso do colmo é de cinco anos, pois ele encontra-se no ápice de desenvolvimento, o que reduz a variabilidade dos resultados. Li (2004) observou em suas amostras de diferentes idades que a densidade aparente aumentou conforme a idade do bambu, sendo 0,49 e 0,54 g/cm³ para as com um ano na região da base e topo e 0,75 e 0,76 g/cm³ para as de cinco anos.

Tabela 2.3: Propriedades mecânicas do bambu *Phyllostachys pubescens*. Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003).

Propriedade	Sem nó (MPa)	Com nó (MPa)	Mudança devido ao nó (%)
Tração (longitudinal)	263,4	212,8	- 19,2
Flexão (longitudinal)	136,6	131,3	- 3,9
Compressão (longitudinal)	62,6	58,6	- 6,4
Cisalhamento (longitudinal)	13,1	12,2	- 6,9
Tração (transversal)	3,0	3,6	+ 20
Clivagem (transversal)	0,6	0,8	+ 33,3
Dureza (longitudinal)	89,6	77,7	- 13,5

Hidalgo-Lopez (2003) descreveu as propriedades mecânicas de cada elemento do bambu. Segundo ele, o colmo tem maior resistência à compressão na região do topo e gradativamente é reduzida em direção à base e a região intermediária possui maior resistência à tração por apresentar internós mais longos. O internó é mais resistente em sua região central, por possuir fibras mais longas, portanto, quanto mais perto do nó, menores são as fibras e conseqüentemente menos resistentes. Quanto a parede do colmo, a resistência à compressão e à tração são maiores na região mais externa e gradativamente é reduzida na direção da interna.

A Tabela 2.4 apresenta os valores de resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson obtidos por Ghavami e Marinho (2005) em seus testes com colmos inteiros de *Guadua angustifolia*, obtendo resultados das partes basal,

central e topo. Quanto a resistência à compressão observaram que é três vezes menor que a resistência à tração.

Tabela 2.4: Valores de resistência à compressão, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson do bambu inteiro da espécie *Guadua angustifolia*. Adaptado de Ghavami e Marinho (2005)

Região do colmo	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coefficiente de Poisson
Base sem nó	28,36	14,65	0,27
Base com nó	25,27	9,00	0,56
Centro sem nó	31,77	12,25	0,36
Centro com nó	28,36	12,15	0,18
Topo sem nó	25,27	11,65	0,36
Topo com nó	31,77	15,80	0,33
Valor médio	29,48	12,58	0,34
Varição	25,27 – 34,52	9,00 – 16,80	0,18 – 0,56

Os pesquisadores tem adotado suas próprias metodologias para determinação das características do bambu devido a dificuldade de execução dos ensaios. Os ensaios em colmos inteiros utilizam como base a ISO 22156 (2004) e ISO 22157 (2019) instituídas pelo INBAR.

O bambu em estado seco, assim como a madeira, não conduz bem o calor, pois suas cavidades celulares estão cheias de ar, se tornando um bom isolante térmico. Embora o bambu ainda possua uma condutividade térmica superior ao valor da madeira, essa diferença é trivial (VERSCHLEISSER, 2008).

2.4.3 Tipos de ligações ortogonais a topo e encaixes viga-pilar

Segundo Padovan (2010), os estudos e o uso de materiais renováveis de rápido crescimento, como o bambu, foram fomentados devido à escassez de recursos naturais e a busca pela sustentabilidade relativo a materiais construtivos, porém, suas conexões ainda são um complicador devido a sua forma cônica, oca, com variação dimensional do comprimento, diâmetro e espessura de paredes. Marçal (2018) ao citar a norma Indiana, diz que a conexões devem ser consideradas como rotuladas a menos que haja

comprovação que as definam como fixa. A norma internacional ISO 22156 (2004) afirma que as conexões em estruturas de bambu devem promover a continuidade entre elementos, transferindo os esforços de forma efetiva e controlando os deslocamentos.

As conexões podem ser tradicionais ou contemporâneas. As tradicionais utilizam amarrações com cordas ou outros materiais flexíveis, com ou sem cavilhas que são peças de bambu ou madeira com função de parafuso e possuem baixa eficiência reduzida. Já as contemporâneas utilizam argamassas, concreto, chapas, porcas e parafusos metálicos e encaixes rebuscados. Em ambos os casos, devem ser feitos ensaios em laboratório em escala real para verificar a capacidade da ligação.

Hidalgo-Lopez (2003) sugere em seu trabalho diversos tipos de encaixes tradicionais para estruturas em bambu do tipo pilar-viga tubulares com resultados satisfatórios, como por exemplo ao encaixe reto com flange (com uma ou duas abas), boca de peixe e boca de peixe com flange, respectivamente exemplificados na Figura 2.17. Podem receber amarrações, pinos ou cavilhas para melhor estabilidade.

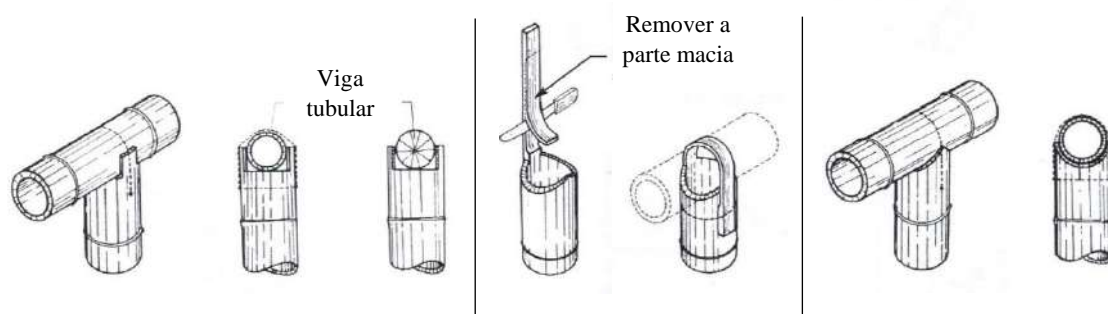


Figura 2.17: Tipos de encaixes para vigas tubulares. Fonte: Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003)

A norma peruana NTE E.100 (2012) diz que as uniões podem ser de materiais metálicos, cordas, couros, plásticos e outros similares, porém devidamente justificado pelo projetista, como mostras a Figura 2.18 Os parafusos podem ser feitos com barras rosqueadas de aço *in loco* ou com contínuas comerciais. No caso do uso de parafuso, o entrenó deve ser perfurado passando pelo eixo central do bambu. Entre a porca do parafuso e o bambu devem ser colocadas arruelas, chapas metálicas ou material de resistência similar.

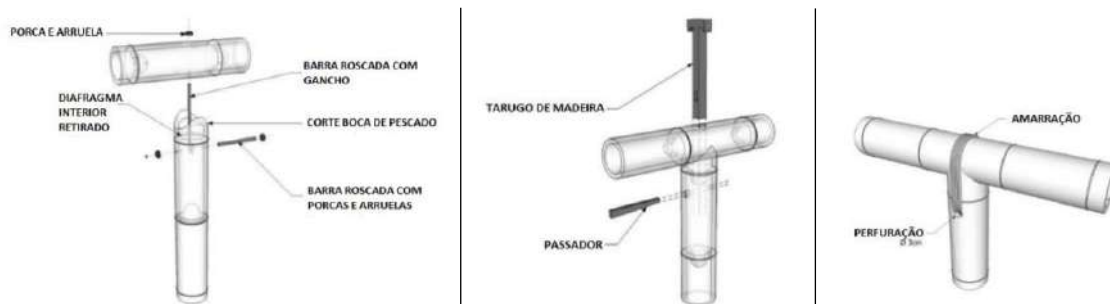


Figura 2.18: Tipos de ligações na norma peruana NTE E.100. Adaptado de Marçal (2018).

A Norma Equatoriana de la Construcción (2017) diz que a união entre os eixos pode ser realizada com elementos metálicos. A Figura 2.19 mostra que essa conexão é feita com um corte plano no colmo vertical, utilizando, no lugar da boca de peixe, um disco de metal de 2 mm de espessura e uma “meia cana” de metal de 150 mm de comprimento, com perfuração de 10 mm proveniente de um tubo metálico.

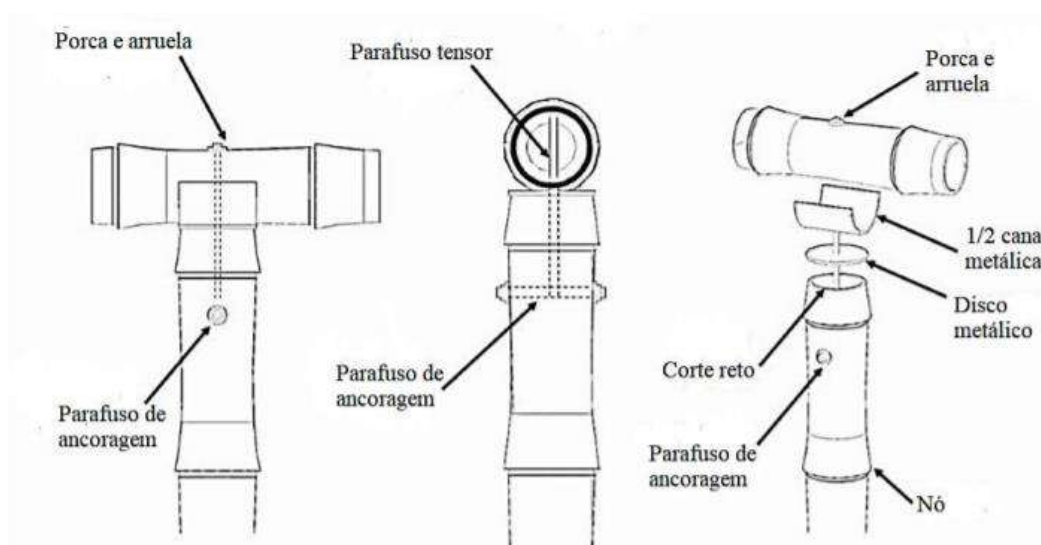


Figura 2.19: União perpendicular com disco e meia cana metálicos. Fonte: Marçal (2018).

Hidalgo-Lopez (2003) sugere em seu estudo dois tipos de amarrações com materiais flexíveis, que podem ser vistos na Figura 2.20, sendo o primeiro para boca de peixe simples e o segundo para boca de peixe com travas. Em ambos os casos é usada uma cavilha.

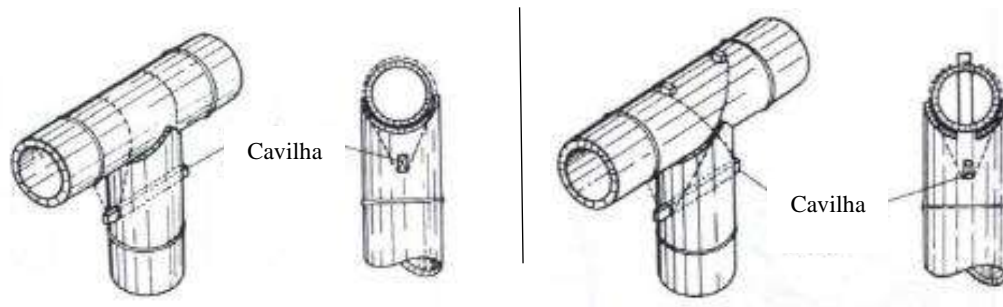


Figura 2.20: Ligações flexíveis. Fonte: Adaptado de Lopez (2003).

2.4.4 Aplicação do bambu em abrigos emergenciais

Blooming Bamboo home

O projeto *Blooming Bamboo home* do grupo vietnamita H&P Architects utiliza o bambu como material de construção. O projeto aborda de maneira contextual e econômica o problema perene das inundações regionais que assola muitas partes do Sudeste Asiático. O abrigo localizado no Vietnã pode ser visto na Figura 2.21.



Figura 2.21: Perspectiva da *Blooming Bamboo home*.
Fonte: Vietnam Investment Review (2014).

Com módulos de bambu de quatro a cinco centímetros de diâmetro e 3,3 m ou 6,6 m de comprimento, cada abrigo pode ser montado com parafusos e bambus amarrados.

Essa estrutura é bem rígida e suporta as cheias de até 1,5 m de altura. A estrutura de bambu tem usos multifuncionais. Pode ser usado como abrigo, centro educacional, centro médico e sala comunitária, e pode ser expandido se necessário. A Figura 2.22.a mostra a multifuncionalidade da edificação, bem como seu módulo. O telhado pode ser feito de acordo com o clima local e usando materiais disponíveis localmente, como bambu pequeno, acácia bambu, papelão ou folhas de coco. A Figura 2.22.b o sistema da edificação, com disposições internas e encaixes.

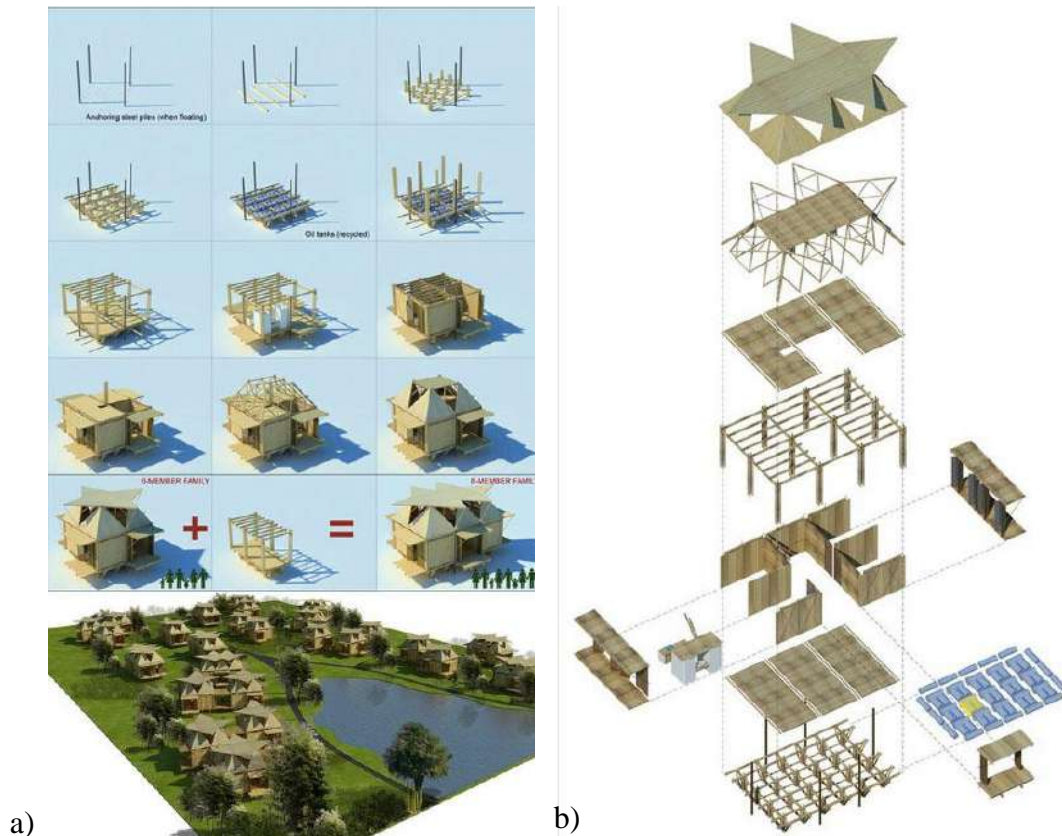


Figura 2.22: a) Implantação e explicação do módulo. b) Perspectiva explodida do abrigo.

Fonte: Dornob (2013).

Os usuários podem construir o abrigo sozinhos em 25 dias. Seus módulos são pré-fabricados em massa e custo total de \$2.500. Pode aquecer os usuários nas condições mais severas, além de contribuir para o desenvolvimento ecológico, bem como para a estabilização econômica. Isso criará conexão entre a cultura e a arquitetura vernacular.

Soe Ker Tie House

Localizado na Tailândia e projetado pelo grupo de arquitetos TYIN Tegnestue, uma organização sem fins lucrativos, consiste inicialmente em seis unidades de dormitórios. O custo total do projeto, segundo Saieh (2009) é de \$10.000. O sudeste asiático enfrenta frequentes conflitos armados devido ao regime ditatorial militar, o que faz famílias serem forçadas a fugir de suas casas e se refugiarem nas fronteiras do país, deixando muitas crianças órfãs. A quantidade de órfãos superava a de instalações no orfanato. Os abrigos, que podem ser vistos na Figura 2.23, proporcionou 24 novas vagas.



Figura 2.23: Perspectiva da *Soe Ker Tie House*.
Fonte: Saieh (2009).

A técnica de tecelagem de bambu usada nas fachadas laterais e traseiras é a mesma utilizada em casas e artesanato locais. A maior parte do bambu é colhida a poucos quilômetros do local. O formato da cobertura telhado invertida permite uma ventilação natural e a coleta de água da chuva, o que torna as áreas ao redor dos edifícios mais úteis durante a estação chuvosa e oferece a possibilidade de coletar a água em períodos mais secos, como mostra a Figura 2.24.

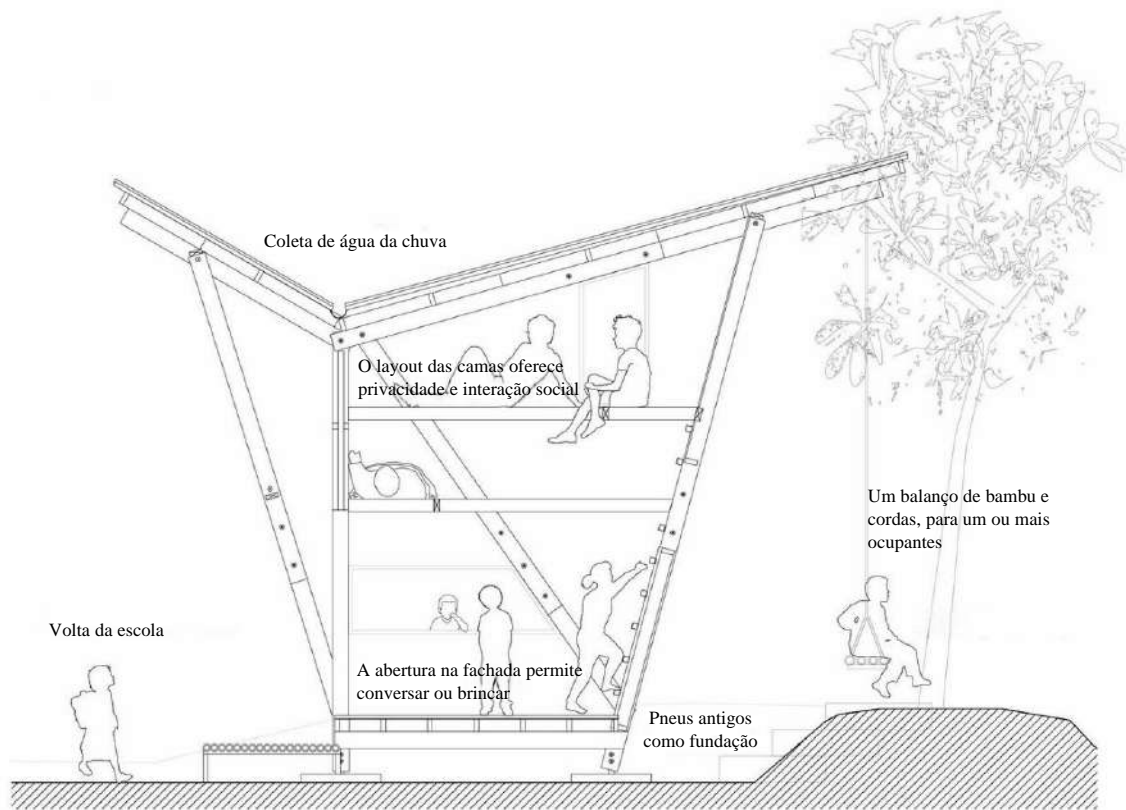


Figura 2.24: Corte da *Soe Ker Tie House*. Adaptado de Saieh (2009).

2.5 Estudos sobre bioconcreto

Os bioconcretos são materiais compostos por agregados de origem vegetal adicionados a uma matriz cimentícia. Se diferem dos compósitos fibrosos no quesito de quantidade de biomassa, pois este último utiliza no máximo 10% e funciona como reforço, enquanto que o bioconcreto utiliza biomassa como agregado. Os bioagregados trazem leveza e isolamento termoacústico para as misturas.

2.5.1 Resíduos de biomassa de bambu

Para a utilização de colmos de bambu são escolhidos os mais retos e uniformes, o que gera uma alta quantidade de resíduos quando não apresentam uniformidade.

O processo de laminação do bambu é o que mais gera resíduos, em torno de 40%. Antonio *et al.* (2015) afirmam que a falta de um processamento mecânico adequado e automação do bambu gera grande quantidade de resíduo. Isso pode agravar os problemas

ambientais caso seu destino final não seja o mais apropriado. A utilização dessas sobras e de fragmentos é uma alternativa para o reaproveitamento de resíduos. Podem ser aplicados em compósitos, deixando-os mais leves e com qualidade estética.

Da Silva (2019) utilizou em sua pesquisa diversas espécies distintas de bambu para produzir os bioagregados e obteve um bioconcreto trabalhável, coeso e com boas propriedades mecânicas. A possibilidade de misturar diversas espécies de resíduos de bambu, torna o reaproveitamento dos mesmos mais eficiente.

2.5.2 Propriedades do bioconcreto com partículas de bambu

Wolfe (2006) afirma que os compósitos com biomassa vegetal e matriz cimentícia podem ser aplicados de diversas formas e possibilidades. Esses compósitos têm a possibilidade de serem projetados para diversos tipos de aplicação, seja para maior leveza ou maior resistência. Segundo Andreola (2017) os bioconcretos além de poderem ser furados e cortados, são bons isolantes térmico-acústicos. Por ser um material com flexibilidade de usos, ele pode ser apropriado para aplicação em abrigos emergências os quais precisam se adequar a diversas situações de usos e culturas.

Segundo Lima (2005), a finalidade dos bioconcretos é conciliar as potencialidades da matéria-prima original em um novo produto com propriedades superiores se comparado a cada item individualmente. A Figura 2.25 mostra as potencialidades de cada material individualmente desejadas.



Figura 2.25: Propriedades intrínsecas do cimento e de biomassa de bambu na fabricação de compósitos.

Fonte: Andreola (2017)

Bioagregados em matrizes cimentícias, segundo Amziane & Collet (2017), melhoram a resistência à flexão, reduzem a densidade e favorecem o isolamento térmico e acústico. Pelos bioconcretos serem porosos, as propriedades térmicas são beneficiadas e, portanto, quanto mais biomassa for adicionada à mistura, maior será a quantidade de poros e conseqüentemente menor é a condutividade térmica. Tittlein *et al.* (2012) afirmam que os painéis em bioconcretos de madeira apresentaram condutividade térmica três vezes menor que os produzidos em gesso. A condutividade térmica dos materiais a base de bioagregados varia de 0,1 a 0,3 W m⁻¹ K⁻¹ (AMZIANE & COLLET, 2017).

Se comparados ao concreto convencional, os bioconcretos apresentam valores de resistência à compressão menores, o que não prejudica estruturalmente o elemento construtivo para vedação. Ronquin *et al.* (2014), por exemplo, obtiveram valores de resistência a compressão em seus compósitos com biomassa vegetal na faixa de 3,6 a 6,9 MPa. Já Andreola *et al.* (2019) em seu compósito com biomassa de bambu, obteve valores entre 8,46 a 13,39 MPa. O estudo de Ribeiro (2016) indica a possibilidade da aplicação de bioconcretos em vedações e painéis divisórios com controle térmico e acústico, além de satisfatório comportamento mecânico.

Capítulo 3

Concepção do sistema Pré-fabricado para abrigos emergenciais

Neste capítulo é apresentado um possível estudo de caso e seu anteprojeto, evidenciando o sistema modular pré-fabricado desenvolvido.

3.1 Projeto

3.1.1 Conceito, Partido e Forma arquitetônica

O conceito em arquitetura está ligado a sensação que se almeja passar com o projeto. É algo abstrato que está subentendido em representações gráficas. O partido é o conjunto de técnicas aplicadas para alcançar os objetivos do conceito proposto, ou seja, é um conjunto de parâmetros. Os projetos desenvolvidos nesta pesquisa têm como conceito a simplicidade e a impacto ambiental e seu partido, respectivamente, a modulação e a utilização de materiais com reduzida emissão de carbono na atmosfera ou de origem natural.

A forma arquitetônica foi concebida a partir do purismo do cubo. As formas puras são estáveis e promovem a ordem, sendo produto da composição formal geométrica. Cubos, esferas, cilindros, cones, etc, combinados formam conjuntos harmoniosamente estáveis que resultam em um todo unificado. Refugiados ou mesmo pessoas que perderam tudo o que possuíam em desastres vêm de um ambiente de caos e instabilidade, e, portanto, a sensação de ordenamento e unidade proveniente de formas puras pode ser o início da reabilitação desses indivíduos e a ignição de uma nova vida.

A partir da subtração em um cubo de 3000 mm x 3000 mm x 3000 mm, foi retirado 700 mm correspondente a cobertura, o que permite uma livre escolha de inclinação

posteriormente. Em seguida foi novamente subtraído o módulo que definirá os planos que formam a edificação que corresponde a 1/6 de uma das faces do cubo, como exemplifica a Figura 3.1.

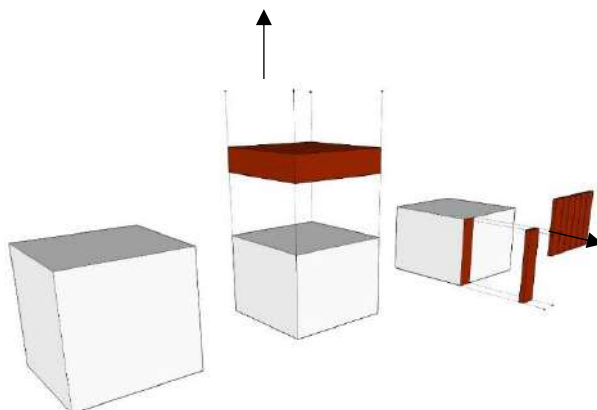


Figura 3.1: Representação do processo de obtenção da forma arquitetônica e do módulo.

3.1.2 Seleção dos materiais

Entre os materiais explicitados na revisão bibliográfica deste estudo foi possível selecionar os mais adequados para atingir o partido de projeto definido. O bambu, entre todos os supracitados é o que une a alta disponibilidade, leveza, é termicamente eficiente, tem certa durabilidade se tratado e tem qualidade estética, além de boas propriedades mecânicas. No entanto, seu uso em forma tubular pode gerar de 40% a 60% de resíduos. Esses resíduos poderiam ser utilizados para a produção de vedações em bioconcreto para essa estrutura. Ao vedar a estrutura com bioconcreto, sua porosidade beneficiaria as propriedades térmicas, como por exemplo, baixando a condutividade térmica, e ao mesmo tempo criando um colchão de ar. Segundo Arch-tec (2015) o colchão de ar ventilado entre duas superfícies, sendo uma delas exposta à algum tipo de energia térmica, é um artifício arquitetônico eficiente para o isolamento térmico de fachadas. A primeira superfície transfere a energia térmica recebida para o colchão de ar, e quanto menos condutora for a superfície, menos calor será transferido. Antes de atingir a segunda superfície, esta energia se dissipa no ar, o qual também é um péssimo condutor de calor ($0,03 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) e pela convecção natural por diferença de pressão, reduz os efeitos da irradiação sobre a segunda superfície (Arch-tec, 2015). O esquema proposto no presente estudo pode ser visto na Figura 3.2. Além disso, estrutura em bambu tubular e vedação em bioconcreto também possibilitam uma peça de fácil montagem e desmontagem.

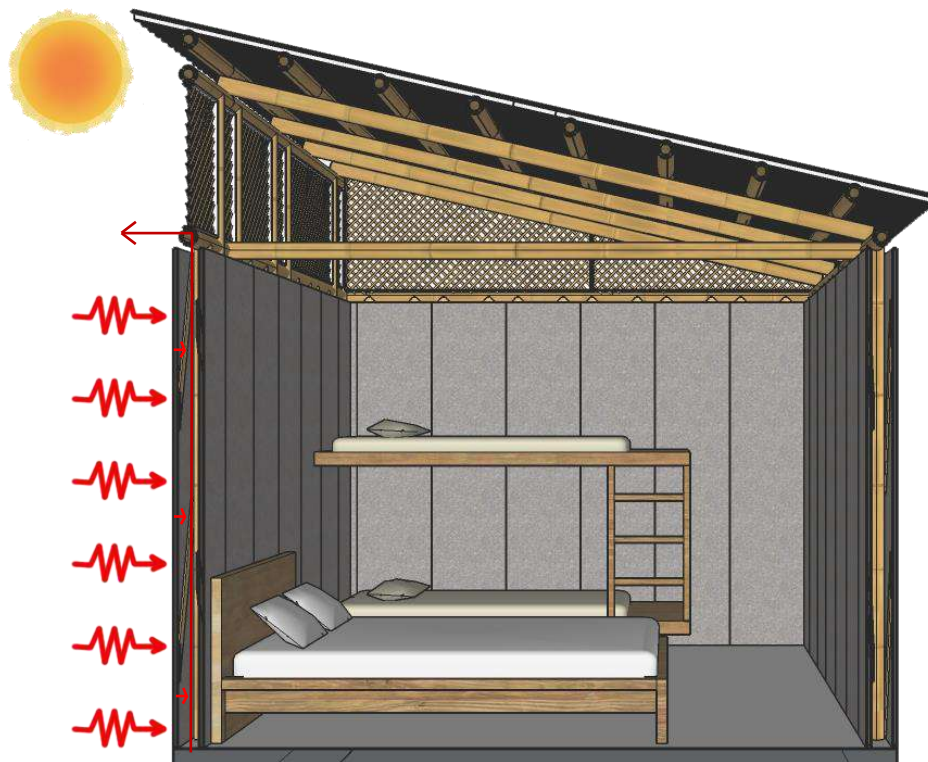


Figura 3.2: Conceitos aplicados visando o conforto térmico do abrigo.

Em caso de implantação em locais com temperatura no verão mais amena, é indicado a colocação do forro em bambu laminado colado a fim de criar na cobertura um colchão de ar, reduzindo o ganho de calor nas estações quentes e conservando-o mesmo durante as estações frias. O uso da energia solar que passa pelo muxarabi e da inércia térmica do forro como podem promover o aquecimento da edificação em locais mais frios, como mostra a Figura 3.3.

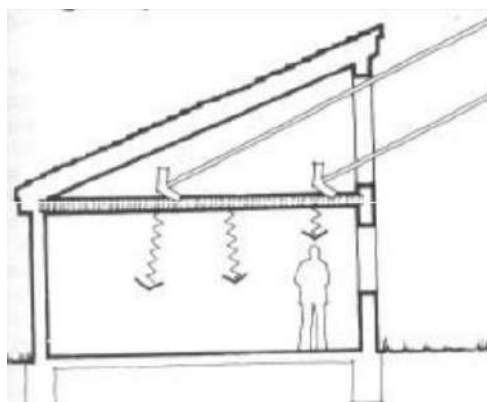


Figura 3.3: Uso de forro no abrigo para aquecimento.

Fonte: Borille (2015).

O uso de muxarabi, que é um fechamento em treliça tradicional da cultura árabe e trazido pelos portugueses ao Brasil, no ponto mais alto da edificação contribui para a ventilação e iluminação naturais, ao mesmo tempo que garante a privacidade de seus ocupantes sem impedir a visão do lado externo. É um elemento que possibilita a adaptabilidade cultural e bloqueia parcialmente o calor. O ar frio entra pelo painel camarão e ao esquentar, sobe, saindo pelas aberturas do muxarabi, devido a correntes de convecção, como mostra a Figura 3.4.

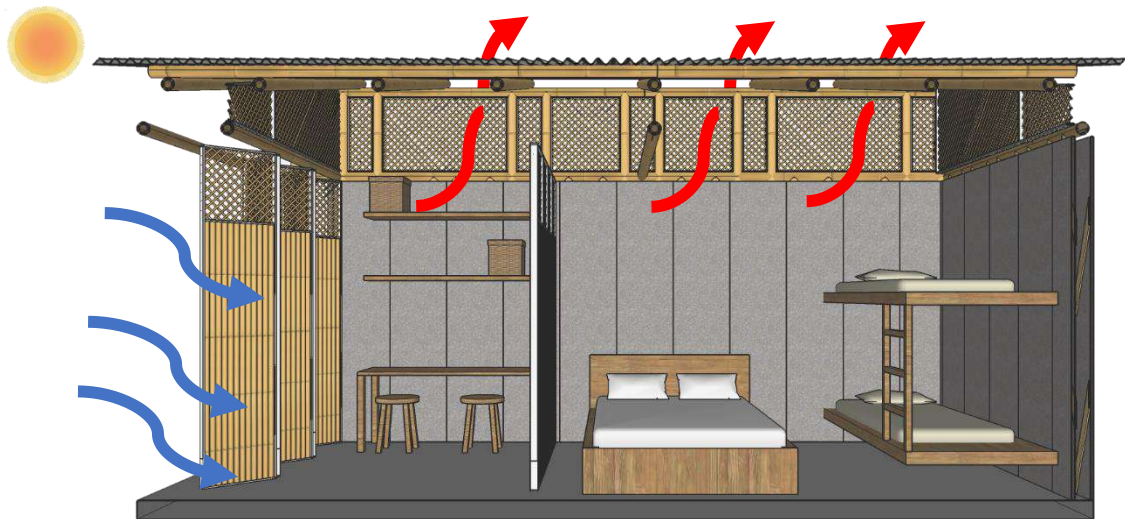


Figura 3.4: Conceitos utilizados que permitem a ventilação natural do abrigo pelo uso de muxarabi.

O melhor desempenho do *shed* no Brasil é feito quando este está orientado a Sul para latitudes compreendidas entre 24° e 32°. Seu efeito pode ser visto na Figura 3.5.

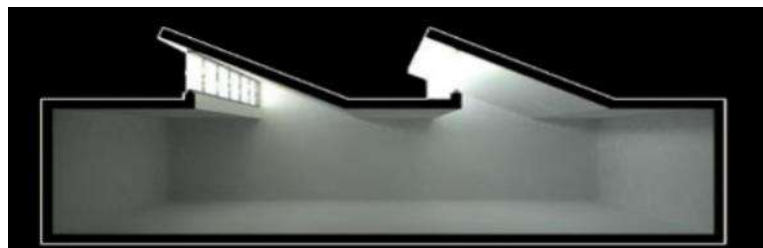


Figura 3.5: Exemplo de iluminação feita por *shed*.

Fonte: Borille (2015).

O segundo passo foi selecionar a espécie do bambu. O *Dendrocalamus giganteus* daria uma estrutura mais pesada e seu menor diâmetro supera a espessura de no máximo

150 mm pensada para as paredes do abrigo. O *Bambusa vulgaris* é fino e leve demais, o que seria um risco aos ocupantes da edificação. O *Phyllostachys pubescens* possui diâmetros compatíveis com a espessura da parede desejada e segundo Gomes (2019) apresenta boa resistência à compressão e colmos mais retilíneos.

3.1.3 Estudo preliminar e anteprojeto

O ponto de partida do projeto foi a busca pela simplicidade, adquirida através da subtração em um cubo composto por módulos base de 500 mm de comprimento e 2300 mm de altura e 20 mm de espessura. A partir deste módulo definiram-se os espaços conforme medidas mínimas sugeridas por Neufert (2013).

Entre todas as possibilidades de dimensões da peça, a que se mostrou mais satisfatória foi com altura do pé direito, pois assim as junções, que são um complicador seriam apenas feitas na vertical. Com peças menores que o pé-direito do abrigo também teriam que ser realizadas junções horizontais e provavelmente o encaixe macho-fêmea precisaria de algum tipo de argamassa ou parafuso nessa direção.

O limite máximo de dimensões e peso também foi estipulando considerando seu transporte por duas pessoas. A peça deve ser transportada por duas pessoas, uma em cada extremidade, apoiando-a com a mão em sua menor dimensão, como mostra a Figura 3.6.

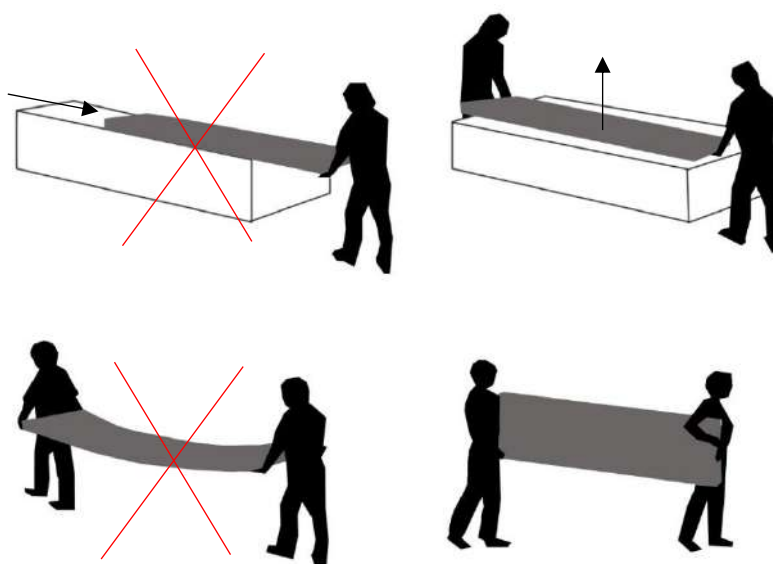


Figura 3.6: Formas de transporte da peça pré-fabricada.

Com esses materiais definidos, projetou-se a peça para que esta tivesse o peso inferior ao de um homem em idade adulta, que segundo Thomaz *et al.* (2013), é de 79 kg.

Uma verificação do peso da peça será feita no presente estudo no Capítulo 6 após a caracterização dos materiais constituintes. O abrigo é composto por 27 peças pré-fabricadas e dois painéis feitos em bambu, um fixo (interno) e um móvel (externo). A Figura 3.7 mostra no detalhe a peça pré-fabricada e sua ligação com o colmo longitudinal que suporta o telhado, os quais constituem a região do abrigo mais estudada.

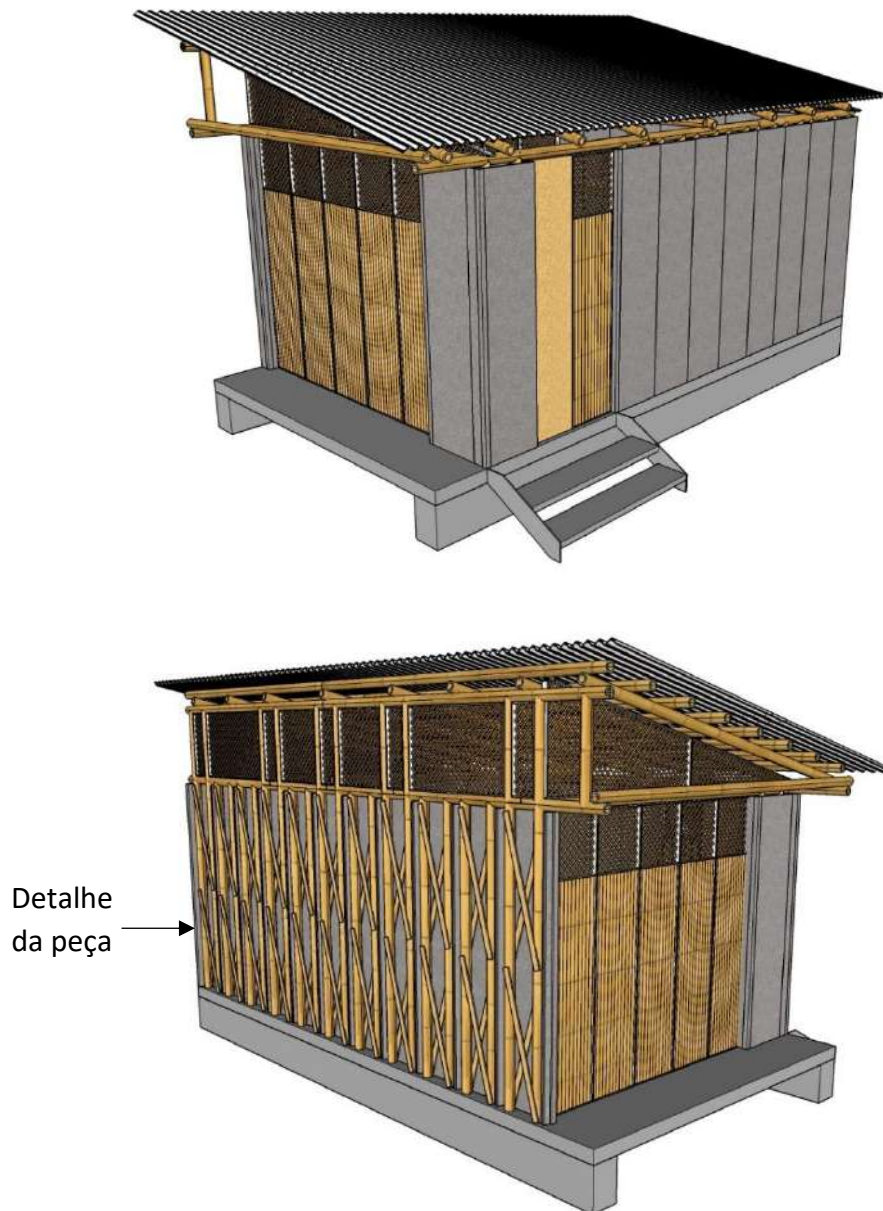


Figura 3.7: Perspectivas do abrigo proposto no presente estudo.

A cobertura é feita em telha ecológica e os espaços internos distribuídos com o conceito de espaço flexível. O abrigo de 20,15 m² é composto por uma área de uso comum e um dormitório com capacidade para quatro pessoas, como mostra a Figura 3.8.

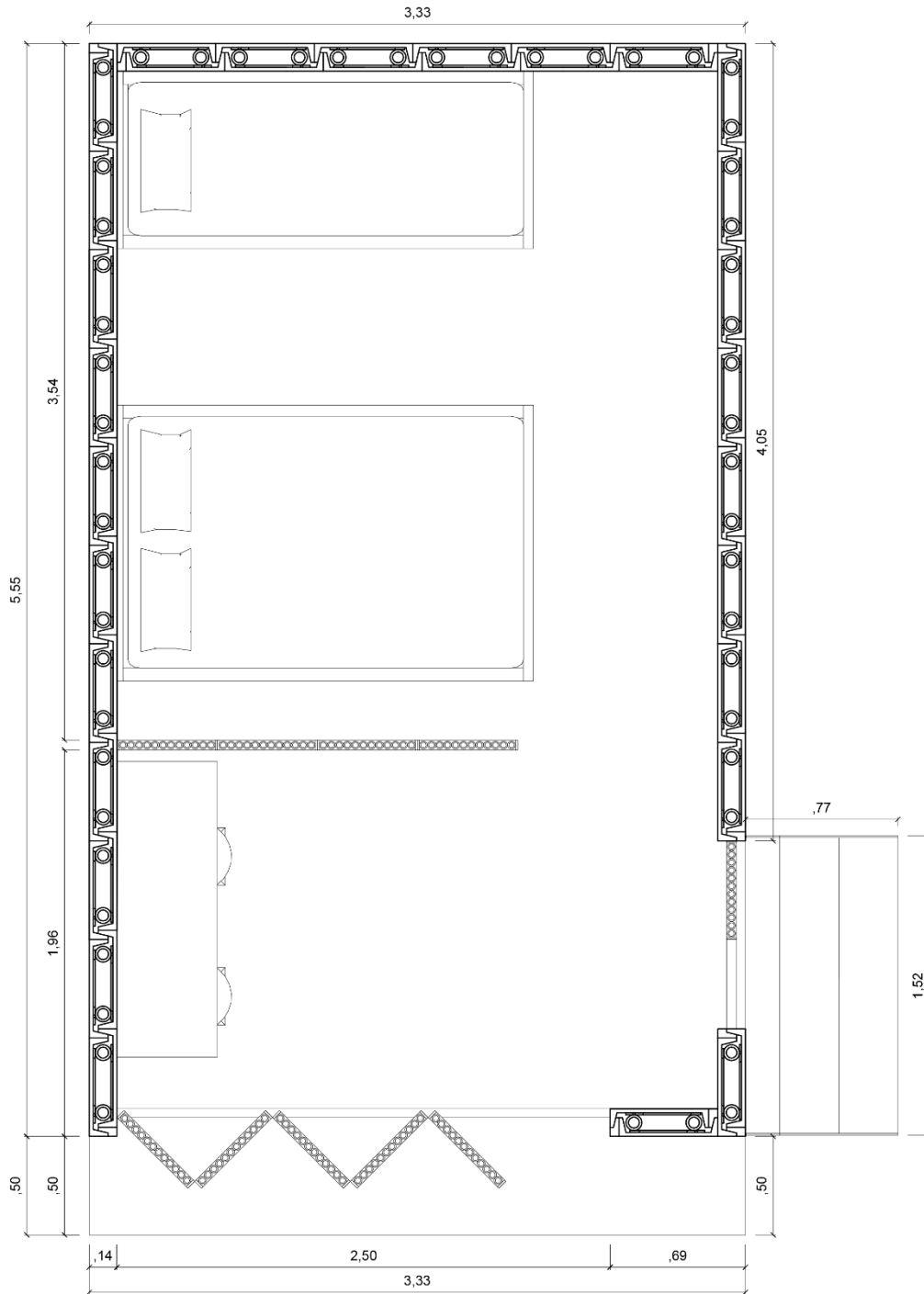


Figura 3.8: Planta baixa do abrigo proposto com cotas em metros.

A partir desta unidade básica desenvolvida para regiões de clima tropical, é possível criar outras possibilidades tanto de arranjo interno, quanto de implantação, segundo necessidade do local onde for inserido. A unidade básica foi projetada para

quatro pessoas e pode ser expandida mantendo a modulação, caso haja necessidade de abrigar mais pessoas, conforme exemplo da Figura 3.9.

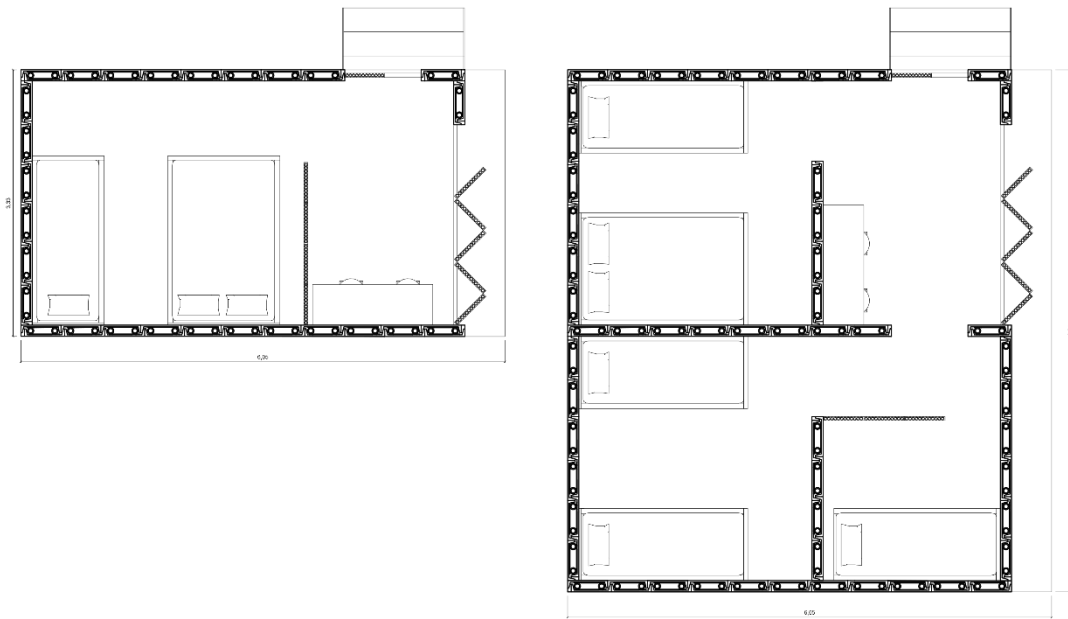


Figura 3.9: Possível variação do abrigo inicial conforme necessidade de ocupação.

3.2 Peça Pré-fabricada

3.2.1 Elementos

A peça pré-fabricada é composta por 8 elementos: par de chapas de bioconcreto de bambu com 45% de biomassa, dois colmos de bambu Mossô com diâmetro médio de 80 mm e quatro ripas de madeira da espécie *Eucalyptus grandis*.

As duas chapas de bioconcreto que compõem uma peça possuem seção tipo “U” e sua face externa deve ser lixada para a fina camada de cimento sair e o bioagregado ficar aparente, a fim de qualidade estética sem necessidade de pintura, o que também reduz custos. A forma interna da chapa é trapezoidal para evitar a concentração de tensões nas quinas da peça, no ponto em que acontece a união macho e fêmea. Internamente, são colocados para sustentação dois colmos de bambu in natura contraventado nas diagonais com quatro ripas de madeira reflorestada, duas de cada lado do colmo, a fim de reduzir o comprimento de flambagem do colmo, como pode ser visto na Figura 3.10. As peças são

unidas por barras roscadas com porca e parafuso em 6 pontos (quatro nas extremidades e dois no meio da peça). Também há uma segunda peça composta apenas por bioconcreto de bambu com 45% de biomassa (em volume) para acabamento dos vértices da edificação, que pode ser vista na Figura 3.10.

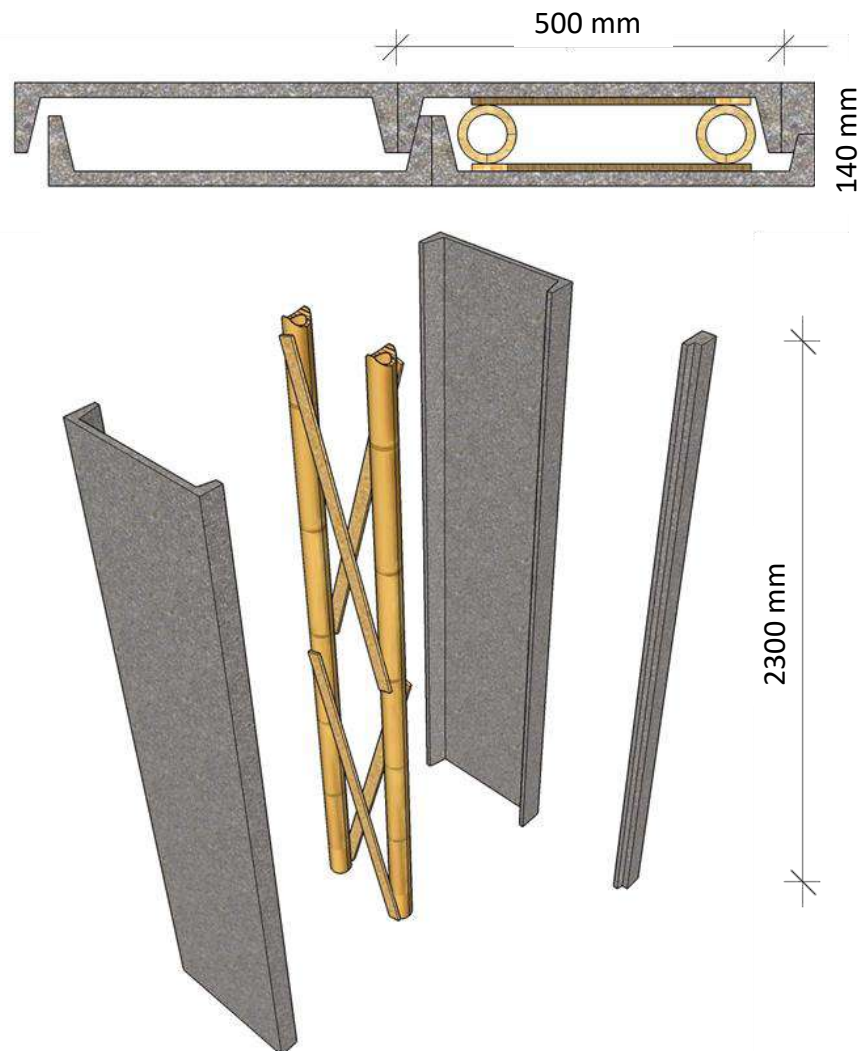


Figura 3.10: Representação dos elementos da peça em planta e perspectiva explodida.

3.2.2 União dos componentes

As chapas de bioconcreto de bambu são fixadas na madeira, no bambu e no preenchimento com o mesmo compósito dentro do colmo com tirantes metálicos galvanizados juntamente com arruelas e porcas. O preenchimento interno dos colmos com uma pequena quantidade do mesmo bioconcreto das chapas pode reduzir os impactos resultantes da furação do bambu, além de melhorar a fixação das barras roscadas. Cada colmo é preenchido do topo até o primeiro nó e da base até o primeiro nó de baixo para

cima. Estima-se utilizar no máximo 250 mm de altura de bioconcreto dentro do colmo, devido as dimensões do internó do bambu a ser utilizado. O esquema de união dos elementos que compõem o pré-fabricado pode ser visto na Figura 3.11.

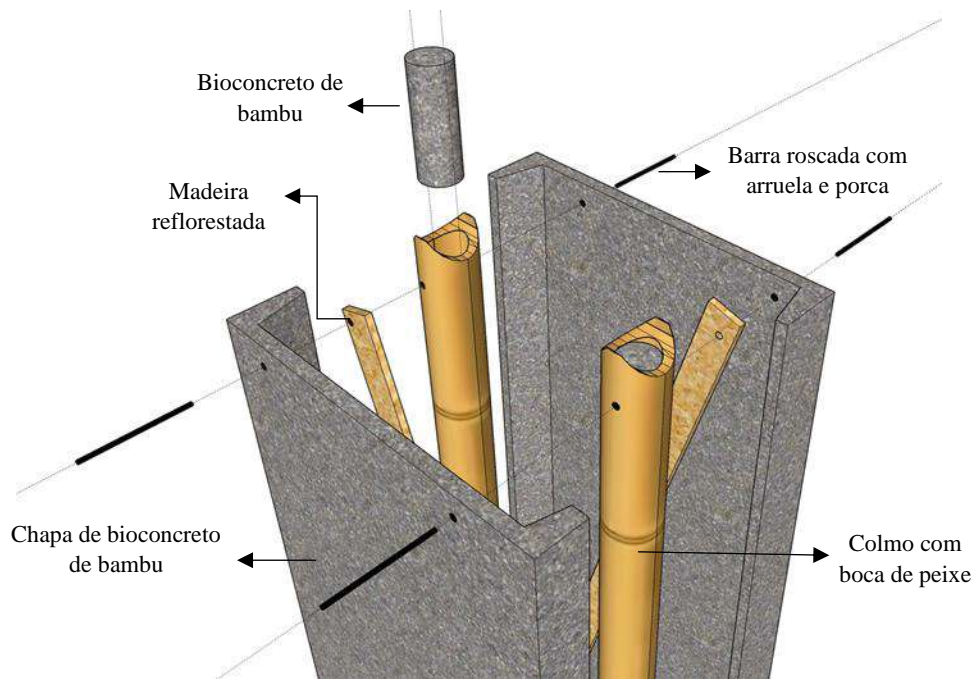


Figura 3.11: Representação da união dos elementos do pré-fabricado.

A junta tipo boca de peixe simples é utilizada para unir o extremo de um colmo de bambu com outro perpendicular. Dentre todos os exemplos citados no item 2.7.3 deste estudo, é o que possibilitaria uma produção em larga escala e mecanizada, além de permitir uma maior variação dimensional da seção do colmo. O encaixe selecionado e sua ligação flexível, também estudados por Hidalgo-Lopez (2003) podem ser observados na Figura 3.12.

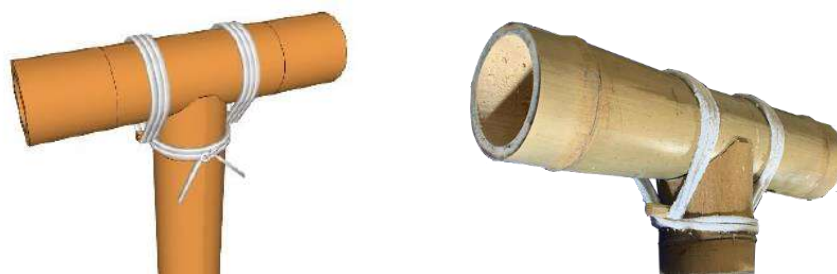


Figura 3.12: Representação da ligação flexível viga-pilar.

Caso a ligação flexível não suporte as cargas que o abrigo sofre, poderá ser utilizada ligação rígida exemplificada na Figura 3.13. Este modelo é o mais simples dentro dos apresentados e tem maior facilidade tanto de montagem quanto de se adquirir as peças em caso de uma eventual manutenção. Possui uma normativa, embora não seja de origem nacional.

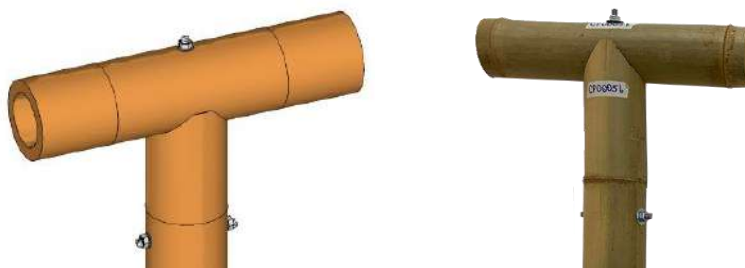


Figura 3.13: Representação da ligação rígida viga-pilar.

Embora não seja o foco deste estudo, as ligações dos caibros com as vigas em bambu tubular do telhado podem ser realizadas tanto em ligação flexível quanto em rígida. Este trabalho sugere que o tipo de amarração seja realizado conforme Hidalgo-Lopez (2003) propõe em seu estudo sobre ligações de bambu tubular, exemplificada na Figura 3.14. A cavilha de bambu também pode ser substituída por parafusos de aço, conforme sugere a Norma peruana NTE E.100 (2012).

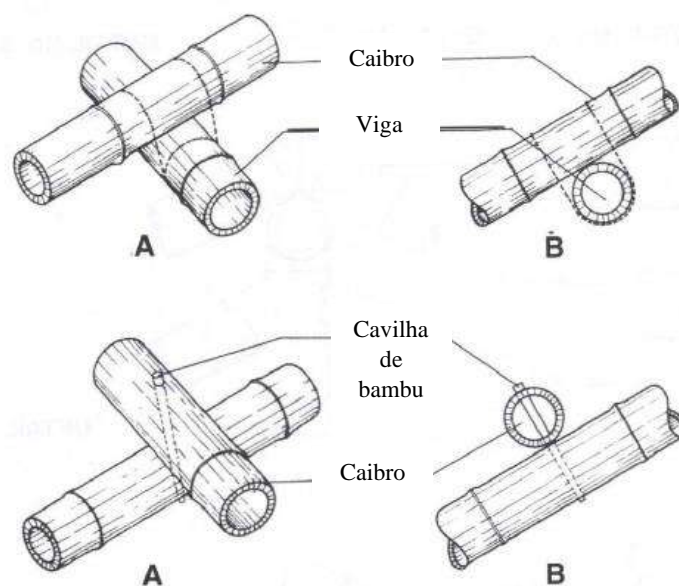


Figura 3.14: Representação da ligação flexível caibro-viga. Adaptado de Hidalgo-Lopez (2003)

As telhas, segundo Hidalgo-Lopez (2003), podem ser fixadas nos caibros com parafusos metálicos, conforme exemplifica a Figura 3.15. O modelo de telha sugerido neste estudo é a ecológica onduline que necessita inclinação do telhado de 18%.

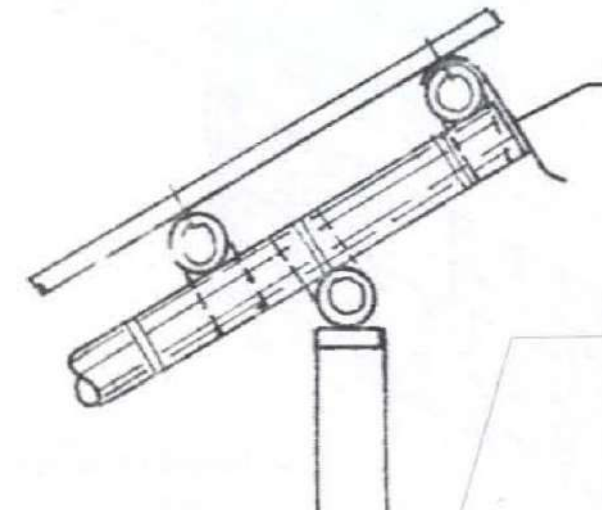


Figura 3.15: Representação da ligação telha-caibro.

Fonte: Hidalgo-Lopez (2003)

As fundações, embora não sejam o foco deste trabalho, podem ser realizadas em viga baldrame com concreto convencional, pois este é composto por materiais de alta disponibilidade e apresenta desempenho mecânico adequado. A Figura 3.16.a e Figura 3.16.b apresentam duas possibilidades de fundações com viga baldrame sugeridas pela Norma peruana NTE E.100 (2012) e adaptadas por Marçal (2018).

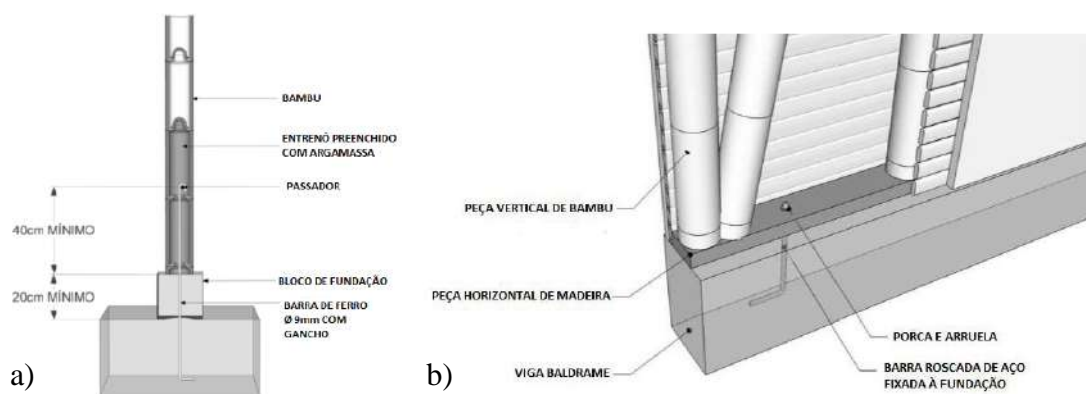


Figura 3.16: a) Representação do estudo de fundações. b) Fixação da peça pré-fabricada e a viga da fundação.

Fonte: Marçal (2018) adaptado da Norma peruana NTE E.100.

3.3 Análise estrutural do protótipo proposto

Foi realizada uma análise estrutural do modelo proposto utilizando o software comercial (SAP 2000) com objetivo de avaliar a resistência dos elementos estruturais bem como suas ligações. Para análise foram considerados os carregamentos permanentes de peso próprio da estrutura (*pp*), do forro (*pf*) e das telhas (*pt*) e as ações variáveis assumidas como aquelas devido ao vento e ao carregamento accidental. Para o cálculo do *pp* foi considerado o peso do bambu, excluindo assim a chapa de bioconcreto por esta estar apoiada diretamente no piso e o contraventamento em madeira por não exercer interferência. As ações variáveis assumidas foram aquelas devidas ao vento e ao carregamento accidental no telhado (peso de uma pessoa realizando atividades de manutenção). Para a caracterização dos carregamentos citados foi utilizada a NBR 6120 (2019).

No caso particular para a carga do vento foi utilizada a NBR 6123 (2013). Este é um aspecto crítico para avaliação estrutural do abrigo, em razão da possibilidade deste tipo de carga levar o telhado e toda a estrutura à colapso. Embora a ação do vento seja uma ação dinâmica, ela será considerada neste trabalho como uma ação estática equivalente, determinada em função de coeficientes aerodinâmicos definidos em sua respectiva norma.

Os parâmetros de segurança e ponderação de ações e de resistências a serem adotadas no projeto são definidos pela NBR 8681 (2003). Nesta norma, as ações solicitantes de projeto podem ser representadas como combinações de ações. Baseado na NBR 8681 (2003) este trabalho também verificou o Estado Limite Último dos elementos definidos pelos colmos de bambu, conforme será apresentado no item 6.4. Os esforços nas ligações também foram avaliados.

A resistência de projeto foi calculada seguindo a NBR 7190 (1997), conforme indicado em Ghavami *et al.* (2017) e no projeto da NBR 16828-1 (2020).

A verificação da flambagem do colmo vertical foi feita com base na NBR 16828-1 (2020). A verificação do pino de bambu e do de aço foram feitos também com esse projeto de norma e com a NBR 8800 (2008). A Figura 3.17 mostra o esquema estrutural do abrigo a ser modelado no SAP 2000.

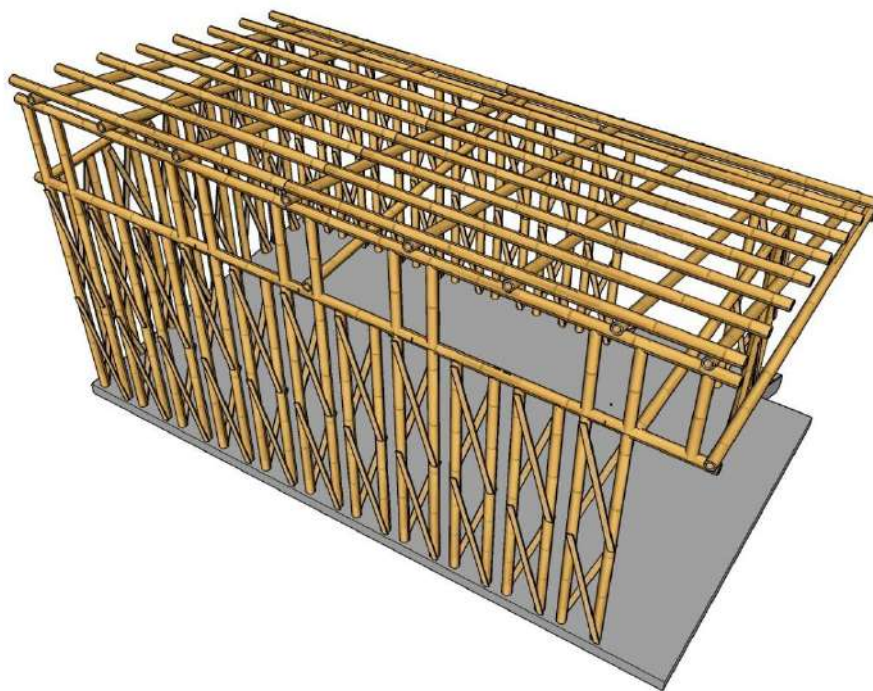


Figura 3.17: Esquema da estrutura em colmo de bambu do abrigo.


3.4 Estudo de Implantação

Não existe arquitetura universal, ou seja, a arquitetura deve ser pensada caso a caso, levando em consideração, clima, cultura e necessidades locais. No entanto, é possível a tentativa de se chegar a um desenho universal. O desenho universal em arquitetura é aquele que visa projetar ambientes que supram as necessidades do maior número de pessoas possíveis independente de idade, habilidade ou situação. Para a implantação do abrigo emergencial, foi feita a tentativa de suprir a maior quantidade possível de necessidades em uma proposta, porém permitindo sua adaptação conforme demanda local.

Para a escolha de possíveis locais de implantação dos primeiros abrigos foram utilizados critérios como elevadas solicitações de pedidos de refúgio no Brasil, disponibilidade de plantações de bambu, baixa ou média densidade demográfica, mínima infraestrutura próxima, como hospital, escola, transporte público, segurança pública e aeroporto e que sejam áreas periféricas ao centro, evitando um desenho urbano consolidado e permitindo a possibilidade de expansão. Este trabalho focará em regiões

com elevadas temperaturas no verão. Os locais e terrenos sugeridos podem ser vistos na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Propostas de locais para o estudo de implantação dos abrigos.

Estado	Cidade	Localização de possível terreno	Foto
Acre	Cruzeiro do Sul	7°17'19.86"S 72°41'25.18"O	
Maranhão	Caxias	4°51'24.26"S 43°22'01.06"O	
Mato Grosso do Sul	Corumbá	19° 1'37.40"S 57°39'40.62"O	
São Paulo	Guarulhos	23°25'59.61"S 46°31'56.16"O	

Capítulo 4

Materiais e métodos para produção dos elementos do sistema pré-fabricado

Neste capítulo são apresentados os materiais escolhidos, sua caracterização e quantificação para validarem sua utilização nos elementos que compõem o sistema pré-fabricado.

4.1 Colmos de bambu

O bambu apresenta características distintas de um lote para outro. Portanto, este trabalho utiliza um único lote de bambus da espécie *Phyllostachys pubescens* oriundo da cidade de Guarulhos, em São Paulo, com idade média de 5 anos. Foram tratados com água quente e secos a temperatura de 25°C. Ghavami *et al.* (2003) sugere que as propriedades do bambu variam longitudinalmente ao longo do colmo, assim como Santos *et al.* (2018) e Costa *et al.* (2014) observam em suas pesquisas a variação no sentido radial também. Este estudo usou a região basal e meio para caracterização e aplicação estrutural.

Os ensaios de caracterização física seguem a metodologia utilizada por Gomes (2019) em suas amostras de *Phyllostachys pubescens* retirada de colmos que apresentam diâmetro e tratamento semelhantes a este trabalho.

4.1.1 Caracterização Física

4.1.1.1 Teor de Umidade

Através dos procedimentos e cálculos descritos na ISO 22157 (2019) e por Krause (2015) são obtidos os valores do Teor de umidade das amostras do bambu que será utilizado como estrutura nos painéis pré-fabricados. Os corpos de prova para o ensaio de

Teor de Umidade foram obtidos a partir de colmos de Bambu Mossô de 80 mm de diâmetro. Para a determinação do teor de umidade, foram cortadas 5 amostras prismáticas de 25 mm x 25 mm (largura e comprimento) com a mesma espessura da parede do colmo selecionado, conforme mostra a Figura 4.1.



Figura 4.1: Corpos de prova para o ensaio de Teor de Umidade.

Todas as amostras, após pesadas em uma balança com precisão de 0,01g, foram colocadas em estufa à temperatura controlada de 103°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) para secagem. As pesagens foram feitas a cada 6 horas, porém, após 24 horas, foram realizadas a cada 1 hora até constância de massa. O valor obtido foi considerado representativo para o teor de umidade da amostra como um todo. Após a realização do teor de umidade de cada amostra, foi feita a média aritmética dos resultados.

4.1.1.2 Massa Específica

Para o cálculo de massa específica, são feitas as medições das dimensões dos 5 corpos de prova em seu estado natural retirados de bambu Mossô com 80 mm aproximando de diâmetro de colmo. As amostras foram pesadas em balança com precisão de 0,01g e em seguida colocadas em estufa à 103°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) para secagem até constância de massa (pesagens feitas a cada 6 horas e após 24 horas a cada 1 hora). Após secos cada corpo de prova tem suas dimensões medidas novamente. Através dos procedimentos e cálculos descritos na ISO 22157 (2019) e por Krause (2015) foi determinada a massa específica com a razão entre a massa seca e o seu respectivo volume em estado natural.

Também foi determinada a massa específica com a razão entre a massa seca e o volume respectivo após secagem da amostra. Tanto para o ensaio de teor de umidade, quanto para o ensaio de massa específica foram utilizadas as mesmas amostras e conseqüentemente, os valores de massa ao natural e seca foram compartilhados entre ambos.

4.1.2 Dimensões do colmo

Para este estudo, foram utilizadas 35 unidades de colmos de bambu com 3100 mm de comprimento cada. Geometricamente, o bambu é um tronco de cone, onde o diâmetro da base é maior e diminui conforme o ganho de altura. Para o cálculo do diâmetro médio de cada colmo, foram medidas as dimensões dos dois extremos de cada colmo com paquímetro digital. Foram realizadas em cada extremidade duas medições de diâmetro (em direções opostas) e quatro medições de espessura de parede (em regiões opostas). A Tabela 4.1 apresenta as médias aritméticas das medidas realizadas.

Tabela 4.1: Dimensões médias dos colmos de bambu desta pesquisa em mm.

Identificação do colmo	Diâmetro Médio Extremidade 1	Diâmetro Médio Extremidade 2	Espessura Extremidade 1	Espessura Extremidade 2
19	84,90	69,75	11,55	8,13
20	83,05	70,75	8,78	8,08
21	75,85	71,75	10,10	9,78
22	86,20	72,65	10,38	8,68
23	84,75	73,55	11,45	8,13
24	85,70	76,35	10,30	7,70
25	85,85	69,05	10,63	7,28
26	81,10	69,85	9,58	7,40
27	83,25	66,50	9,50	7,08
28	84,80	71,55	11,00	7,85
29	82,75	67,75	8,85	6,85
30	82,60	68,85	9,98	8,00
31	79,05	68,05	9,10	6,40
32	80,25	66,80	9,50	6,98
33	84,00	73,45	9,88	7,90
34	82,50	71,90	10,65	7,63

4.1.3 Caracterização mecânica

Gomes (2019) em seu estudo sobre as propriedades mecânicas do colmo de bambu, realizou ensaios de resistência a compressão em corpos de prova com um e dois nós saturados e ao natural, cuja relação é, respectivamente, duas vezes o diâmetro igual a altura com nó (2DHCN) e três vezes o diâmetro igual à altura com a presença de dois nós (3DHC2N), e realizou também o de flexão em 3 pontos em corpos de prova com dois nós. Como ele utiliza a mesma espécie e variação de diâmetro e o lote vem da mesma plantação, serão levados em consideração para este estudo. A Tabela 4.2 mostra os

valores obtidos por Gomes (2019) em seus ensaios de resistência à compressão com corpos de prova com um e dois nós.

Tabela 4.2: Valores médios das diferentes zonas de comportamento na compressão uniaxial e coeficiente de variação (% entre parênteses) CE - comportamento elástico, NF - número de fissuras, Pmax – carga máxima, σ - resistência máxima, E – módulo de elasticidade. Adaptado de Gomes (2019).

ID	A		B		C		CE (%)	NF	Pmax (kN)	σ (MPa)	E (GPa)
	σ_A	ε_A	σ_B	ε_B	σ_C	ε_C					
2DHCN _{sat}	64,31 (11,91)	3067,48 (37,15)	73,35 (12,76)	7358,48 (19,46)	75,17 (13,05)	25002,11 (37,81)	82,70 (8,41)	2,66 (24,21)	95,17 (12,82)	78,54 (17,51)	18,61 (16,55)
2DHCN	64,86 (13,93)	2764,09 (8,23)	79,96 (10,77)	6711,79 (21,41)	81,68 (8,00)	25524,44 (26,50)	75,45 (10,68)	1,32 (17,59)	100,61 (0,08)	86,29 (12,94)	22,08 (17,43)
3DHC2N _{sat}	77,91 (12,87)	6603,01 (23,73)	93,63 (23,73)	121010,3 (23,02)	85,82 (16,12)	32521,28 (19,91)	78,41 (7,13)	2,875 (19,14)	1290,04 (17,55)	93,18 (12,51)	11,26 (28,14)
3DHC2N	76,89 (12,61)	3606,33 (14,26)	90,11 (11,28)	8163,18 (35,65)	92,93 (14,36)	28686,48 (31,80)	80,12 (7,55)	2,21 (11,64)	118,45 (11,45)	95,79 (12,95)	21,04 (11,06)

Nota-se que nó tem função enrijecedora e consequentemente restringe a deformação lateral até o surgimento da primeira fissura. Portanto, o 3DHC2N apresentou a maior resistência a compressão uniaxial. Em geral, as amostras saturadas, apresentam uma resistência menor e uma deformação maior se comparadas as do estado natural.

Quanto ao ensaio de flexão em 3 pontos, Gomes (2019) percebe que as amostras saturadas tiveram maior deformabilidade, porém, tanto elas quanto as naturais tiveram fissuras apenas na região do entrenó, pois o diafragma do colmo restringiu a propagação de fissuras. A resistência a flexão (MOR) foi menos impactada, apresentando redução inferior observa a resistência à compressão. Os valores podem ser vistos na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Resultados médios da flexão em três pontos e coeficiente de variação (% entre parênteses). Adaptado de Gomes (2019)

ID	Zona Elástica		Zona Ruptura		CE (%)	NF	D (mm)	t (mm)	P _{máx} (kN)	U	I (mm ⁴)	MOR (MPa)	MOE (GPa)
	P_E	δ_E	P_B	δ_B									
Saturada	10,31 (13,19)	2,94 (7,00)	12,03 (17,05)	6,06 (15,25)	80,09 (8,63)	1	77,83 (4,39)	8,53 (8,42)	12,88 (16,76)	13,71 (7,89)	1128656,35 (10,79)	61,30 (18,37)	9,28 (14,98)
Natural	9,98 (13,80)	4,01 (19,74)	11,78 (8,84)	5,77 (22,07)	84,74 (10,63)	1	80,68 (5,34)	8,18 (3,65)	11,78 (9,58)	52,14 (6,21)	1250201,28 (18,25)	54,95 (16,78)	6,20 (28,73)

4.2 Bioconcreto de bambu

O bioconcreto de bambu deste trabalho é composto por partículas de bambu, cimento, metacaulinita, cinza volante e aditivos. A importância de sua produção está na averiguação do seu acabamento, aspectos visuais, resistência mecânica e leveza que são critérios relevantes da peça pré-fabricada.

4.2.1 Bioagregado de Bambu

4.2.1.1 Obtenção da matéria-prima

Neste trabalho foram utilizados resíduos de bambu das seguintes espécies: *Dendrocalamus asper* (Bambu Gigante), *Bambusa Chungii* (Bambu Branco), *Phyllostachys pubescens* (Bambu Mossô), *Guadua Chacoensis* (Bambu Guadua) e *Phyllostachys aurea* (Bambu Mirim). Foram doados por uma indústria madeireira, pela empresa Bambu Ambiental e pela empresa BAMBUÊ. No caso do *Phyllostachys pubescens* também foram utilizados resíduos provenientes do beneficiamento dos colmos dessa pesquisa e de outras desenvolvidas sobre bambu no laboratório NUMATS da COPPE/UFRJ. Os resíduos possuem diversas idades, de jovem a maduro.

Os resíduos de *Dendrocalamus asper* chegaram em formato de pedaços e segmentos de aproximadamente 1 m, com tipo de tratamento não informado. Os colmos de *Bambusa Chungii*, em formato de segmentos com variação de 1 a 1,60 m de comprimento sem qualquer tipo de tratamento. Os resíduos de bambus das espécies *Phyllostachys pubescens*, *Guadua Chacoensis* e *Phyllostachys aurea* chegaram em pedaços e segmentos de dimensões variadas com tratamento por cozimento e impregnação.

4.2.1.2 Produção do bioagregado de bambu

Os colmos mais longos foram cortados em pedaços de 100 a 150 mm na serra de fita da marca Makita e pedaços com diâmetro igual ou superior a 60 mm foram cortados em meia cana. A dimensão máxima de 100 a 150 mm é a recomendada para processamento no equipamento que reduz os pedaços de bambu em agregados graúdos. O método utilizado para redução de pedaços a partículas de bambu foi desenvolvido por

Andreola (2017) e consiste no uso de um triturador de dois eixos e um moinho de facas. Este trabalho utilizou os mesmos equipamentos.

Para a primeira etapa foi utilizado o triturador com dois eixos da marca Fragmaq (Figura 4.2) do Laboratório de Tecnologia Mineral (LTM) da COPPE/UFRJ, pois este realiza o processo de redução das taliscas e pedaços em agregados graúdos.



Figura 4.2: Triturador de dois eixos.

A Figura 4.3.a apresenta o formato do material encaminhado ao triturador de dois eixos. Na primeira trituração foi obtido o mesmo resultado da pesquisa de Andreola (2017). Taliscas não fragmentadas de maneira uniforme, ou seja, fracionadas e esmagadas. Após a segunda trituração, devido a maior quantidade de espécies distintas utilizadas, não foi obtido o mesmo aspecto desejado e necessário para utilização do equipamento que reduz os agregados graúdos obtidos em miúdos. Foi necessário realizar mais duas triturações para se obter partículas menores como exibe a Figura 4.3.b. Embora o equipamento reduza o tamanho das taliscas, ainda são classificadas como agregado graúdo pois o material fica retido na peneira de 4,75 mm de abertura de malha.



Figura 4.3: a) Formato pré-trituração. b) Após quarta trituração.

A segunda etapa, que produz o agregado miúdo, consiste no uso do Moinho de Facas da Figura 4.4.a, modelo LP 1003 da marca Primotécnica, localizado no Instituto de Macromoléculas (IMA) da UFRJ. Desta forma, foi realizada a primeira trituração e em seguida a segunda, obtendo o resultado de partículas miúdas exibidas na Figura 4.4.b.



Figura 4.4: a) Moinho de Facas. b) Partículas de bambu.

4.2.2 Caracterização das partículas de bambu

4.2.2.1 Peneiramento

A primeira etapa realizada após a obtenção do agregado miúdo é o peneiramento. São utilizadas somente as partículas passantes na peneira de 4,75 mm de abertura de malha como exemplifica a Figura 4.5.a. Para isto, as partículas foram levadas ao peneirador mecânico da Figura 4.5.b até completar 2/3 do volume da peneira e então peneiradas por 15 minutos. Os agregados retidos pela peneira foram colocados novamente no moinho de facas para evitar desperdícios e então triturados para mais uma vez serem peneirados.

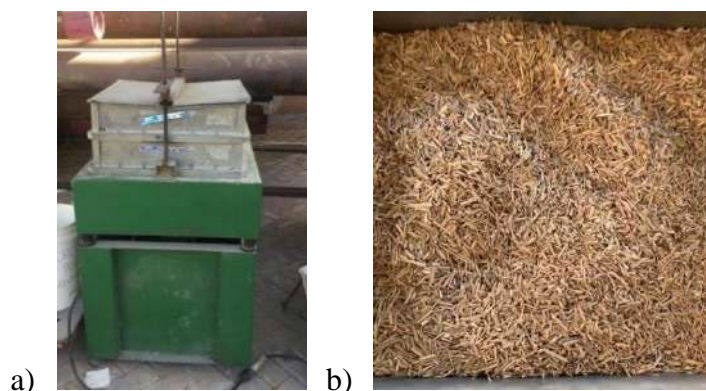


Figura 4.5: a) Peneirador mecânico. b) Partículas após peneiramento.

4.2.2.2 Lavagem

Após o peneiramento, as partículas de bambu são lavadas para a retirada dos extrativos hidrossolúveis. Se não removidos, podem inibir a pega do cimento, comprometendo o bioconcreto, conforme observado pela pesquisa de Da Glória (2016). A lavagem foi realizada com chapa e panela (tampada) com água a 80°C por 1 hora (Figura 4.6.a) sendo a relação biomassa/água utilizada de 1:2,5, conforme sugerido por Pinto (2019). Em seguida foram armazenadas em câmara de temperatura controlada a 40°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), conforme Figura 4.6.b.

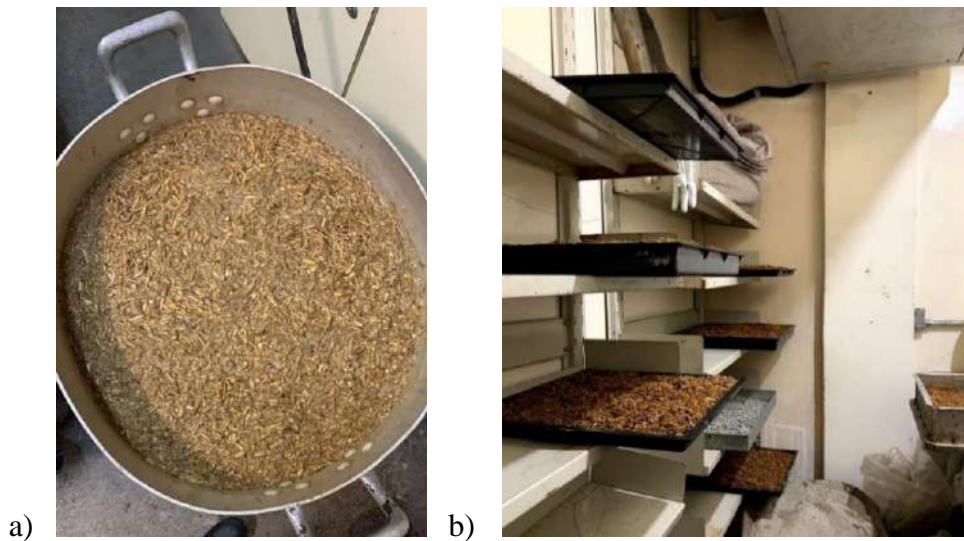


Figura 4.6: a) Lavagem das partículas de bambu. b) Secagem das partículas.

Neste trabalho foram necessárias 72 horas para a evaporação do restante da água e assim o bambu voltar a sua umidade natural.

4.2.2.3 Homogeneização

Neste trabalho, foram utilizadas cinco espécies distintas de bambu e para garantir que as amostras no bioconcreto e nos demais ensaios sejam homogêneas, foi utilizado o método de pilha alongada, proposto por Andreola (2017).

Para realizar este processo, o bambu lavado é disposto em formato de pilha alongada, onde cada lançamento das partículas é realizado em sentido oposto ao anterior, ou seja, da esquerda para direita e vice-versa, até a dispersão total do material. Em seguida

as pontas da pilha são separadas e relançadas obtendo o resultado final da Figura 4.7. O material então pode ser ensacado e armazenado para posterior uso.



Figura 4.7: Homogeneização do bioagregado de bambu.

4.2.2.4 Absorção de água

O ensaio de absorção foi realizado através da metodologia descrita por Pinto (2019). Foram separadas 300 g de bioagregado de bambu homogeneizado e 3 litros de água. Ambos foram colocados em uma argamassadeira de movimento planetário (125 rpm) com capacidade de 20 litros e misturados por 5 minutos na menor velocidade. Em seguida, os agregados foram filtrados por 5 minutos em uma peneira de 150 μm de abertura de malha. Após o escoamento da água, a massa do conjunto foi determinada. Para realizar os cálculos foi utilizada a regra de três resultante na equação 4.1 abaixo:

$$A_a = \left(\frac{m_s - m}{m} \right) \times 100 \quad (4.1)$$

Na qual:

A_a = Absorção de água (%);

m_s = massa do bioagregado na condição saturada superfície seca (g);

m = massa do bioagregado seco em estufa (g).

4.2.2.5 Massa Específica e Teor de Umidade

O ensaio de massa específica aparente foi realizado com base na NBR NM 52 (2009). Uma amostra de 700 g de bambu foi imersa por 24 horas em água deionizada (Figura 4.8.a). A relação em massa de bambu/água foi de 2. Após esse período, a amostra foi colocada em uma bandeja e seca ao ar livre até estar superficialmente seca. Andreola (2017) observou que tanto o agregado seco quanto o superficialmente seco não desmoronam após serem colocados no tronco de cone devido aos muitos vazios entre as partículas de bambu, portanto neste trabalho foram considerados para o ensaio de massa específica as amostras superficialmente secas ao toque, conforme Figura 4.8.b.

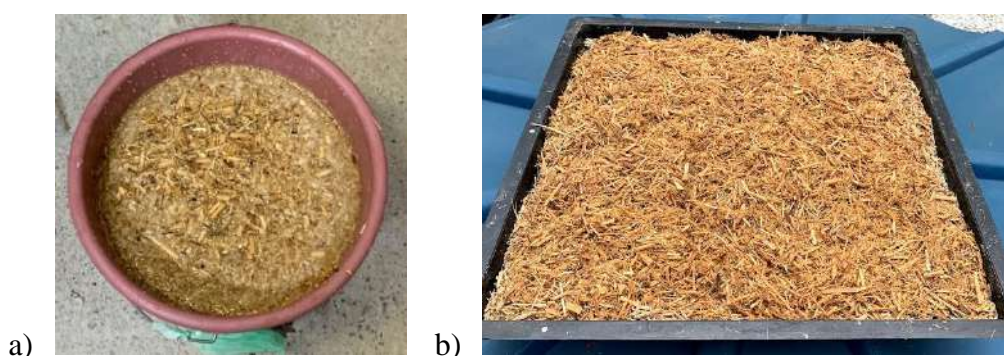


Figura 4.8: a) Imersão em água das partículas de bambu. b) Secagem das partículas.

Três amostras de 100g retiradas da amostra global superficialmente seca foram colocadas em frascos de 1000ml preenchidos com água deionizada e então foram realizados os procedimentos descritos na NBR NM 52 (2009). Após isso, a água foi escorrida e as partículas colocadas em recipientes metálicos secos na estufa de 100°C até atingirem a constância de massa, o que levou 7 dias.

O teor de umidade (T_u) foi calculado baseado na NBR 9939 (2011). Mais três amostras de 100g foram retiradas da amostra global de bioagregado de bambu homogeneizado superficialmente seco e colocadas em três bandejas de metálicas. Em seguida foram levadas a estufa de 100°C até atingirem a constância de massa, o que levou 7 dias. Durante este período foram realizadas medições diárias. O teor de umidade foi calculado através da Equação 4.2.

$$T_u = \left[\frac{(M_i - M_f)}{M_f} \right] - 100 \quad (4.2)$$

Na qual:

T_u = Teor de Umidade;

M_i = massa inicial da amostra em gramas;

M_f = massa final da amostra seca em gramas.

4.2.3 Caracterização dos materiais cimentícios e químicos

4.2.3.1 Cimento Portland, Cinza Volante e Metacaulinita

O cimento utilizado nesta pesquisa foi o CP V - ARI da empresa Holcim. A cinza volante foi fornecida pela POZOFLY e a metacaulinita pela Metacaulin do Brasil na cor cinza. Tanto a metacaulinita como a cinza volante foram utilizadas na mistura para reduzir a quantidade de cimento, sem perdas na resistência do concreto, como observado por Da Silva (2019).

Os ensaios de caracterização dos materiais cimentícios foram realizados no laboratório de Técnicas Analíticas do Labest/COPPE/UFRJ. As granulometrias foram determinadas pelo equipamento a laser Malvern MasterSizer 2000, que se baseia no espalhamento da luz, ou seja, ele mede ângulos de difração do raio laser, que são relacionados aos diâmetros das partículas.

A composição química foi determinada através do Espectrômetro de Fluorescência de Raios X por energia dispersiva modelo EDX-720 da Shimadzu que apresenta tubo de tensão 5kW, alvo de ródio (Rh), e detector de silício-lítio (SiLi) resfriado por nitrogênio líquido. Através do picnômetro a gás hélio, da marca Micromeritics, modelo AccuPyc 1340 foi determinada a densidade.

4.2.3.2 Água

A água que compõe a mistura do bioconcreto de bambu utilizada neste trabalho foi a proveniente da rede de abastecimento da cidade do Rio de Janeiro.

4.2.3.3 Aditivos Químicos

Um dos aditivos químicos utilizado nesta pesquisa é o superplastificante Glenium 51 do tipo éter poli carboxílico da empresa BASF. É utilizado para melhorar o comportamento reológico da mistura. Possui teor de sólidos de 0,3%, densidade em torno de 1.073 kg/m³ e pH em torno de 6.2.

Para acelerar a pega, foi utilizado o cloreto de cálcio puríssimo anidro, com teor de 2% em relação à massa de cimento, baseado no bom desempenho nas pesquisas realizadas por Latorraca (2000), Pimentel (2000), Iwakiri et al. (2012) e Andreola (2017).

Também foi utilizado na mistura o agente modificador de viscosidade, *Viscosity Modify Agent* (VMA), para dar maior trabalhabilidade a pasta cimentícia, pois aumenta a capacidade de retenção de água do concreto e sua resistência a segregação. O produto da empresa BASF possui o nome comercial Rheomac UW 410. Trata-se de um aditivo em pó a base de polímeros de celulose. Neste estudo será utilizado 0,05% na mistura em relação a massa de todos os materiais cimentícios.

4.2.4 Dosagem do Bioconcreto

A dosagem do bioconcreto de bambu deste estudo foi idealizada a partir do trabalho desenvolvido por Andreola *et al.* (2019), que testaram diversas combinações de cimento, metacaulinita e cinza volante, além de distintas relações de água/materiais cimentícios. A água compensadora é uma quantidade adicional de água além da necessária para hidratação do cimento, a qual varia conforme a capacidade de absorção de água da biomassa utilizada. A compensação de água na produção de bioconcretos deve ser suficiente para manter o bioagregado saturado, a hidratação do cimento e conseqüentemente a consistência da mistura. Wolfe (1999) e Souza (2006) sugerem os conceitos de compensação de água da mistura que foram aplicados nas pesquisas de Santos *et al.* (2017) e Andreola (2017), as quais obtiveram resultados satisfatórios em seus bioconcretos.

Conforme citado anteriormente, a mistura deste estudo foi feita a partir do trabalho de Andreola *et al.* (2019). Ela consiste em 40% de cimento (CIM), 30% de metacaulinita (MTC) e 30 % de cinza volante (CV) com relação água/materiais cimentícios de 0,40 e 45% de biomassa. Neste trabalho foi utilizado 45% de biomassa de bambu (BA) para que

o concreto seja mais leve e então proporcione um sistema pré-fabricado que seja transportado por duas pessoas.

O espalhamento em estado fresco foi realizado conforme a NBR 13276 (2016). Foram aferidas as medições para densidade do bioconcreto após cura de 28 dias.

A Tabela 4.4 apresenta as relações mássicas dos materiais utilizados para 1 m³ da mistura idealizada para este estudo. A água total corresponde a água necessária para a hidratação do cimento somada a água compensatória. Foram utilizados 0,05% de VMA (em relação a massa de todos os materiais cimentícios), 2,0% de cloreto de cálcio CaCl₂ (em relação a massa dos materiais cimentícios) e 1% de superplastificante (SP).

Tabela 4.4: Dosagem do bioconcreto em Kg/m³.

BA	CIM	MTC	CV	Água Total	VMA	CaCl ₂	SP
243,00	245,56	184,17	184,17	435,66	0,31	12,28	6,14

4.2.4.1 Produção dos corpos de prova de Bioconcreto

A produção do bioconcreto foi realizada no Laboratório de concretagem do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Materiais e Tecnologias de Baixo Impacto Ambiental na Construção Sustentável (NUMATS/COPPE/UFRJ) em uma betoneira modelo MP – 120P, do grupo MOTOMIL/GMEG. Possui rotação de tambor de 28 rpm (motor 1700 rpm) e capacidade de 80 litros de mistura (motor 120 litros).

O processo de mistura dos corpos de prova consiste na pesagem do material, dividindo a água em 2 recipientes. Em um deles é previamente misturada à água o superplastificante e no segundo recipiente cloreto de cálcio. Os materiais cimentícios, após pesados, são adicionados a um saco transparente e misturados manualmente até a obtenção de uma mistura visualmente homogênea. Em seguida são adicionadas as partículas de bambu ao saco transparente, que foram misturadas até obter um resultado visivelmente homogêneo. Posteriormente os materiais secos foram colocados na betoneira e misturados por 1 minuto. Gradativamente foi colocada a água com superplastificante e com CaCl₂ totalizando 2 minutos. Decorrido 5 minutos de mistura foi adicionado o VMA. O conjunto foi misturado até completar 8 minutos na mesma velocidade inicial.

Os moldes utilizados possuem forma cilíndrica de diâmetro 75 mm e altura 150 mm para análise de compressão e prismática de 400 x 250 x 20 mm³ para análise de flexão. Foram limpos e receberam uma fina camada de óleo mineral para facilitar a posterior desmoldagem. O lançamento do bioconcreto nos moldes cilíndricos foi realizado em três camadas. A cada lançamento, o bioconcreto era adensado por vibro-compactação com uma mesa vibratória (68 Hz) por 30 segundos. O lançamento nos moldes prismáticos foi realizado em duas camadas, com 30 segundos de adensamento por vibro-compactação entre cada lançamento.

Os moldes permaneceram protegidos contra a perda de umidade com uma colcha úmida até sua desmoldagem, ou seja, por um período de 24 horas. Os corpos de prova foram curados em cura seca, onde permaneceram em temperatura e umidade controladas (UR= 55 ±2% e T= 21 ± 2°C) até atingirem 7 e 28 dias de idade para caracterização.

4.2.5 Ensaios mecânicos

Para realização dos ensaios mecânicos, os corpos de prova cilíndricos foram faceados nas extremidades. Foram realizados quatro cortes de 50 mm na largura dos corpos de prova prismáticos de 400 x 250 x 20 mm.

Posteriormente, cada corpo de prova prismático teve sua face irregular regularizada e nivelada com uma serra circular diamantada. O procedimento resultou em cinco corpos de prova de 400 x 50 x 1,8 mm³ que serão utilizados no ensaio de flexão em 3 pontos.

4.2.5.1 Compressão

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado nos corpos de prova cilíndricos de 75 x 150 mm² (diâmetro e altura) após 7 e 28 dias de cura na cura seca na máquina de ensaio universal Shimadzu – 1000kN com velocidade de deslocamento de 0,3 mm/min. Para cada idade, foram ensaiados quatro corpos de prova, sendo um deles exemplificado na Figura 4.9.a. Através da média de leitura de dois LVDTs na vertical, acoplados na região central por anéis metálicos, um em cada lado do corpo de prova, conforme Figura 4.9.b, foi possível obter as deformações verticais.

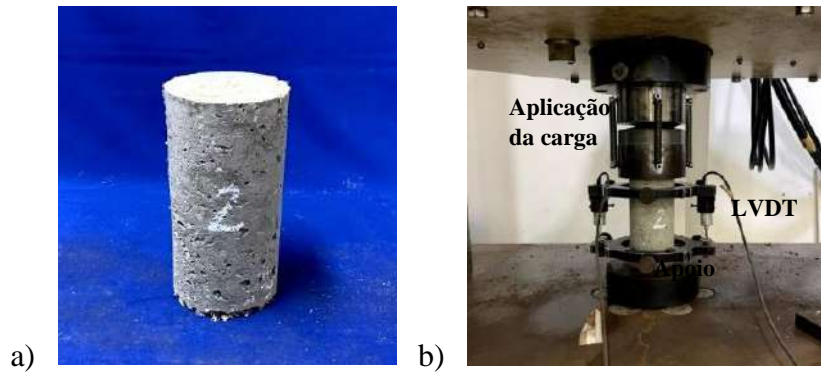


Figura 4.9: a) Corpo de prova. b) Setup para ensaio de resistência à compressão.

Conforme NBR 5739 (2018), foram determinados a resistência à compressão e o módulo de elasticidade dos bioconcretos. O cálculo do módulo de elasticidade foi realizado conforme os procedimentos descritos na NBR 8522 (2017).

4.2.5.2 Flexão em 3 pontos

O ensaio de flexão em 3 pontos foi realizado, com base nos procedimentos descritos na norma EN 310 (1993), nos corpos de prova prismáticos de 400 x 50 x 18 mm³ (comprimento x largura x espessura) após 28 dias de cura na cura seca, conforme exemplifica a Figura 4.10.a. Para cada idade, foram ensaiados 5 corpos de prova na máquina de ensaio universal modelo Shimadzu AGX-100 kN com velocidade de deslocamento de 0,1 mm/min. Por meio de um sensor da máquina e um LVDT acoplado à um dispositivo, disposto no centro do corpo de prova foi adquirida a deflexão central, através do sistema de aquisição de dados Trapezium. A distância utilizada entre os apoios foi de 300 mm. O sistema pode ser observado na Figura 4.10.b.

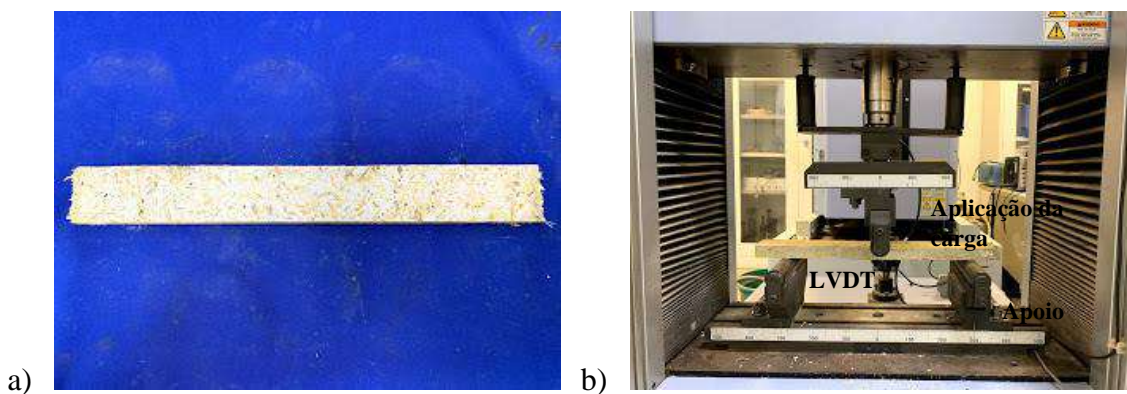


Figura 4.10: a) Corpo de prova. b) Setup para ensaio de resistência à flexão.

Com base na norma Europeia EN 310 (1993) foram determinados o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE).

4.3 Concreto convencional

Este concreto é composto por cimento CP V - ARI da empresa Holcim, com alta resistência inicial, Metacaulinita da empresa Metaculim do Brasil, Areia, Brita 0 natural, Brita 1 natural, Água e superplastificante Glenium empresa BASF.

Para a dosagem do concreto convencional, foi utilizado o mesmo cimento descrito no item 4.2.3 deste trabalho e sua caracterização, assim como o superplastificante e sua respectiva caracterização descritos no item 4.2.3.3. O agregado graúdo, foi o mesmo utilizado por Rangel (2019) em sua pesquisa: Brita 0 (grãos de 4,75 mm a 9,5 mm) e Brita 1 (grãos de 9,5 mm a 19 mm), ambas de origem natural, ou seja, de rocha tipo granito, proveniente da Pedreira BritaBrás, no Rio de Janeiro. Também foi utilizada a mesma areia (agregado miúdo), natural quartzosa, proveniente do Rio Guandu, no Rio de Janeiro. Portanto, serão considerados para este estudo a metodologia e os dados de caracterização desenvolvidos e obtidos por Rangel (2019), bem como as concentrações da mistura, que podem ser observadas na Tabela 4.5. A nomenclatura C35 indica a classe do concreto, cuja resistência à compressão é de 35 MPa.

Tabela 4.5: Dosagem do concreto em Kg/m³.

Mistura	Brita 1 (kg/m ³) NAT	Brita 0 (kg/m ³) NAT	Areia (kg/m ³)	Cimento (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	SP (kg/m ³)
C35	452	457	868	325	212	1,86

O método de mistura foi desenvolvido por Rangel (2019). Para iniciar o procedimento de mistura, o misturador deve ser umedecido com água e seu excesso retirado com um pano. Em seguida todos os agregados graúdos e miúdos são lançados e misturados por 1 minuto para adequada homogeneização. Metade da quantidade total de água é adicionada e misturada por 1 minuto para melhor absorção pelos ARCs. É então adicionado o cimento e misturado aos outros elementos por 1 minuto. Posteriormente deve ser feita a adição da segunda metade da água e o superplastificante, misturando o conjunto por 8 minutos, para total ação do superplastificante e conclusão da mistura (RANGEL, 2019).

A concretagem deve ser realizada em duas camadas sobre mesa vibratória, com adensamento por vibro-compactação a 68 Hz por 30 segundos a cada lançamento e a desmoldagem após 24 horas.

Capítulo 5

Produção e metodologia para caracterização mecânica dos componentes do sistema pré-fabricado e de ligações

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento dos elementos que compõem a peça pré-fabricada. A peça é composta por duas chapas perfil “U” de bioconcreto com 45% de biomassa de bambu como vedação e estrutura em colmos de bambu da espécie *Phyllostachys pubescens* (Bambu Mossô), contraventados com ripas de madeira para diminuir o comprimento de flambagem. Foram avaliados a preparação das formas, o lançamento, vibração e acabamento da peça, uma vez que o estudo envolve um material mais leve que o concreto tradicional e em teoria, melhor comportamento pós fissuração. Quanto a estrutura de bambu, serão avaliados ensaios estruturais em escala reduzida pertinentes ao estudo de caso.

5.1 Painéis em bioconcreto

Os painéis de bioconcreto apresentam dimensão geral de 500 mm de largura e 70 mm de espessura máxima do perfil tipo “U”. A Figura 5.1 apresenta o perfil do painel de compósito de bambu em milímetros.

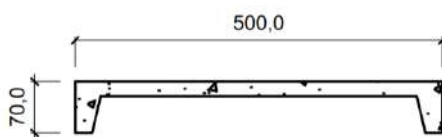


Figura 5.1: Perfil “U” da chapa em bioconcreto.

5.1.1 Produção das formas

Grabois (2012) utilizou em seus painéis de concreto autoadensável, formas metálicas com uma única abertura para concretagem na vertical. O método de concretagem deste estudo propõe que a concretagem na forma seja realizada na horizontal, com formas mais leves, com maior quantidade de aberturas e de material mais acessível. Para a produção da chapa de bioconcreto de bambu foi adotada uma forma da chapa de MDF Branco Ultra Premium de 18mm de espessura da marca Duratex, conforme mostra a Figura 5.2.

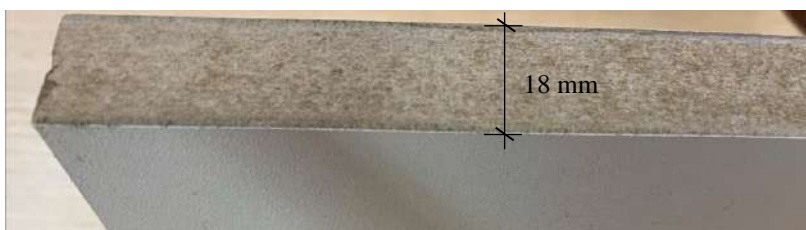


Figura 5.2: Amostra do MDF Branco Ultra Premium.

Esse tipo de madeira é distribuído pelo fornecedor com fórmica aplicada, o que possibilita um acabamento liso no concreto. Segundo o fabricante, é ideal para áreas molhadas, pois resiste bem a umidade, além de ter proteção antibacteriana (Protekto), resistência a cupins, fácil limpeza e ser fabricada com madeira reflorestada.

Para otimizar o processo de produção das formas, a madeira foi encomendada pré-cortada segundo o projeto de formas exibido na Figura 5.3. Esse tipo de madeira é vendido por chapa de 2740 x 1830 mm com quatro tipos de espessura.

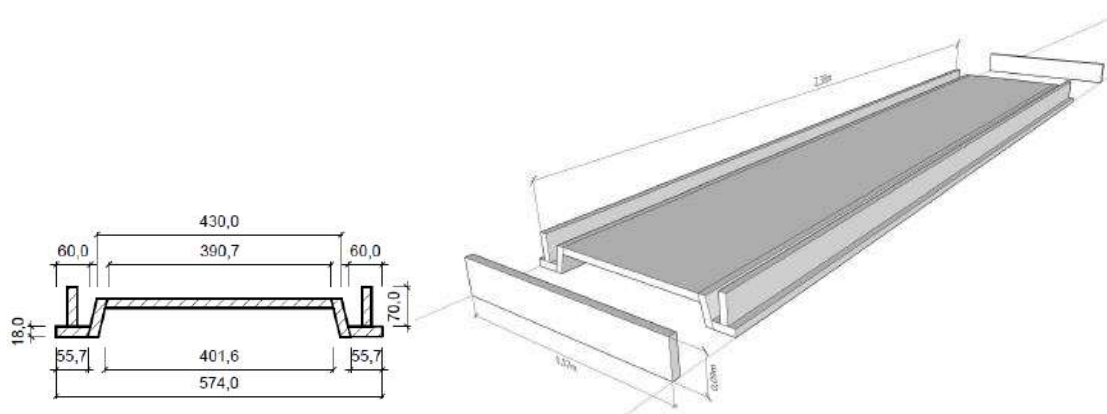


Figura 5.3: Projeto das formas - corte e perspectiva com cotas em mm.

Inicialmente, a forma teria uma tampa com 5 aberturas redondas de 100 mm de diâmetro distribuídas de maneira equidistante ao longo de seu comprimento. A concretagem seria realizada através dessas entradas. Porém, uma forma completamente fechada impediria visualizar se os cantos foram preenchidos de maneira adequada para atingir o acabamento liso sem brocas, já que não serão aplicados acabamentos como massa e pintura a posteriori. Outra questão seria a parte do encaixe macho/fêmea, que precisa seguir a precisão de projeto, se não poderá criar zonas de tensão na vedação que possivelmente a levarão a ruptura. O tempo de vibração teria de ser acima de 30 segundos por camada para permitir o preenchimento de todas as arestas, o que poderia acarretar a segregação das partículas de bambu da matriz. Este trabalho propõe que a forma seja aberta em sua maior dimensão, conforme apresentado na Figura 5.3.

O MDF chegou ao laboratório pré-cortado. O pré-corte dos elementos que compõem a forma respeitou as dimensões mínimas de corte na máquina do fornecedor de 60 mm. O projeto de formas detalha sob forma de hachuras os cortes que cada peça precisa receber para garantir o encaixe adequado após a entrega do material pelo fornecedor, que pode ser visto na Figura 5.4.



Figura 5.4: Plano de corte das peças em mm.

Os cortes foram realizados no Laboratório de Biomassa do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Materiais e Tecnologias de Baixo Impacto Ambiental na Construção Sustentável (NUMATS/COPPE/UFRJ) com serra circular de bancada.

A Figura 5.5 apresenta o esquema de união das peças da forma. O fundo da forma teve suas peças unidas por Cola Adesiva Tekbond 793, o que reduz a possibilidade de vazamento de pasta pelas emendas. As laterais são unidas por parafusos, para facilitar a desmoldagem após 7 dias de cura seca. A junção do fundo com as laterais foi colada e aparafusada para garantir suporte no transporte da chapa de bioconcreto em estado fresco.

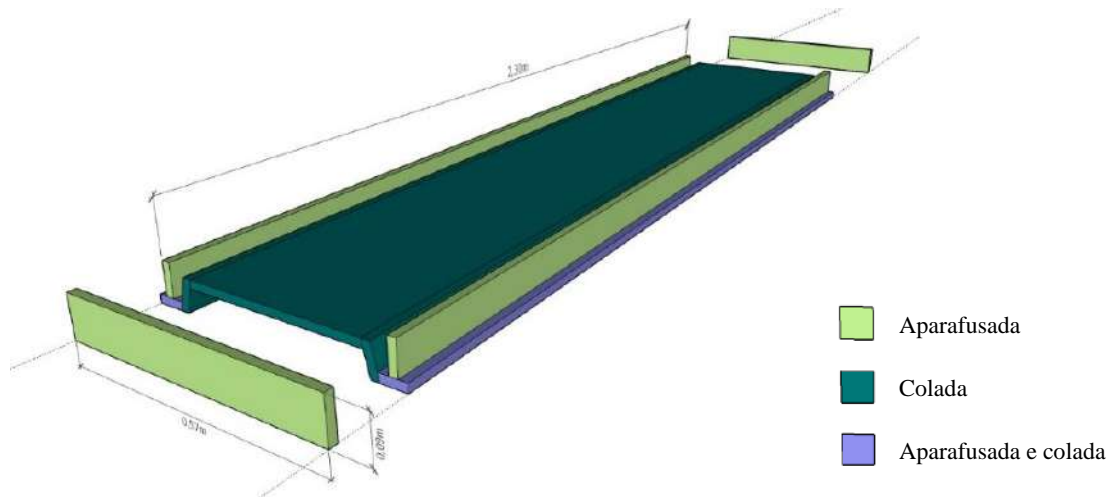


Figura 5.5: Esquema de união dos elementos da forma.

O processo de montagem foi iniciado pela separação das peças em dois grupos (fundo ou lateral) e tamanho da peça. Em seguida, os elementos que compõem o grupo fundo foram colados e as peças de maior dimensão do grupo lateral aparafusadas, o que permitiu a união de ambas posteriormente com cola e parafusos (Figura 5.6.a). Foram coladas pequenas peças da mesma madeira no fundo para reforçar a estrutura da forma (Figura 5.6.b) e então as peças de menor dimensão do grupo lateral foram aparafusadas (Figura 5.6.c).

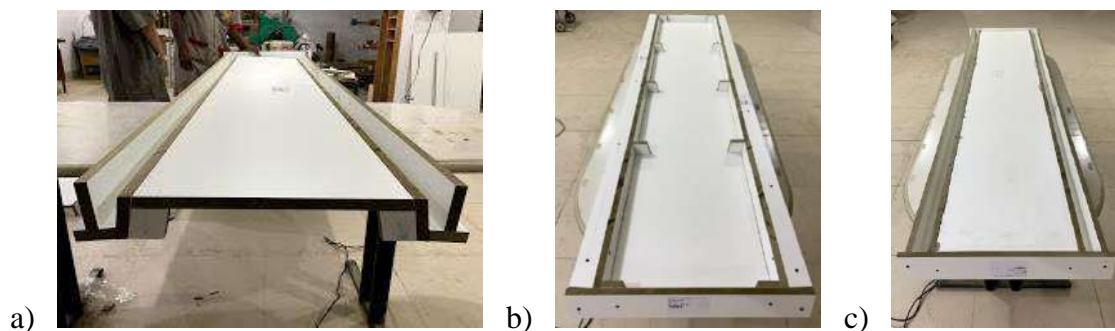


Figura 5.6: a) União das peças do fundo e laterais com maior dimensão aparafusadas. b) Reforço do fundo. c) Forma finalizada.

5.1.2 Produção dos painéis em bioconcreto

A produção do bioconcreto foi realizada no Laboratório de concretagem do Núcleo de Ensino e Pesquisa em Materiais e Tecnologias de Baixo Impacto Ambiental na

Construção Sustentável (NUMATS/COPPE/UFRJ). Foi utilizada a mesma betoneira e o mesmo método de mistura dos corpos de prova da caracterização, mencionados no item 4.2.4.1 deste estudo.

As formas foram dispostas na horizontal sobre a mesa vibratória. Em seguida foram limpas com pano seco e receberam uma fina camada de óleo mineral para facilitar a posterior desmoldagem, como mostra a Figura 5.7.a. O lançamento do bioconcreto no molde foi realizado em duas camadas. O primeiro lançamento foi feito nos chanfros (Figura 5.7.b) e o segundo no restante da peça até ultrapassar no máximo 10mm acima do limite do molde. O bioconcreto foi adensado por vibro-compactação (68 Hz) com mesa vibratória por 30 segundos a cada lançamento, até obter o aspecto exemplificado pela Figura 5.7.c.

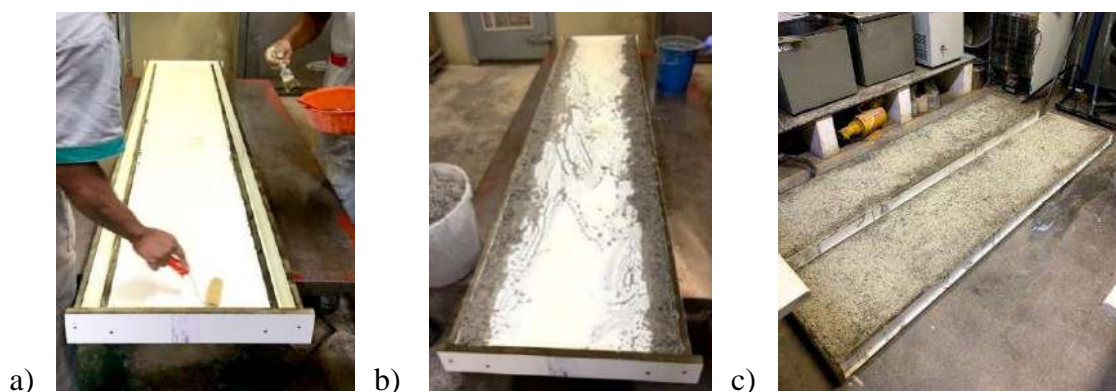


Figura 5.7: a) Lubrificação da forma com óleo. b) Preenchimento das bordas. c) Placas finalizadas.

Os moldes permaneceram protegidos contra a perda de umidade com uma colcha úmida por um período de 48 horas, quando foi feita sua desmoldagem. Para a colocação da colcha foi realizada uma estrutura em madeira a fim de evitar o contato direto da mesma com a superfície da chapa (Figura 5.8.a). É possível ver o conjunto madeira e colcha na Figura 5.8.b. As chapas foram curadas em cura seca, com temperatura e umidade controladas ($UR= 55 \pm 2\%$ e $T= 21 \pm 2^\circ C$) até atingirem 28 dias de idade. Da Silva (2019) comentou que a cura seca promove maior resistência para bioconcretos de Bambu, do que a cura úmida. Portanto, será o método adotado.

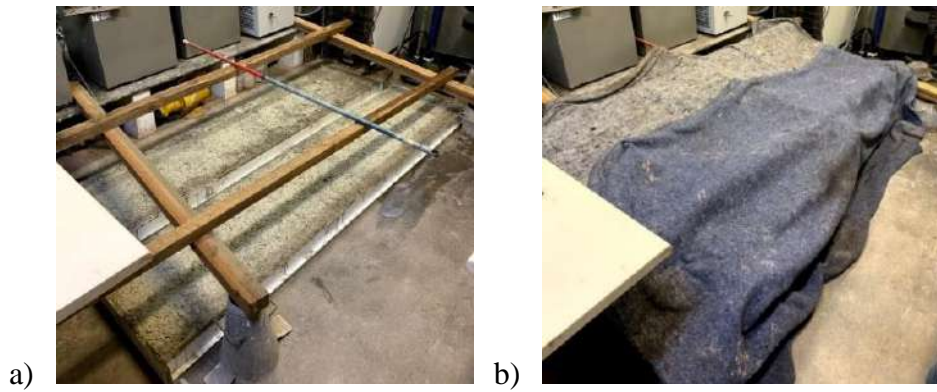


Figura 5.8: a) Estrutura em madeira para aplicação da colcha. b) Molde coberto pela colcha.

Para realizar a desmoldagem após 48 horas de cura, a peça foi colocada em uma superfície regular (Figura 5.9.a) e então foi retirada da forma em duas etapas. Primeiro foram desaparafusadas as peças da lateral da forma com menor dimensão (Figura 5.9.b) e em seguida as laterais com maior dimensão (Figura 5.9.c). Como a peça é longa o fundo não foi retirado a fim de facilitar o transporte da peça para a etapa de acabamento (Figura 5.9.d).



Figura 5.9: a) Superfície irregular da chapa em bioconcreto. b) Retirada das laterais com menor dimensão da forma. c) Retirada das laterais com maior dimensão da forma. d) Permanência do fundo.

5.1.3 Acabamento da chapa

Após 28 dias de cura, a peça foi transportada até local aberto para realizar o lixamento e adquirir o acabamento desejado em projeto, com o bioagregado de bambu aparente. Quando concretada, a superfície aberta possui uma fina camada de pasta que impede a total visualização das partículas de bambu, além de adquirir uma textura áspera.

O processo de acabamento é realizado em três etapas: lixamento grosso, lixamento fino e envernizamento. O lixamento grosso é realizado pela Lixadeira de concreto LCV 1550 220 V da marca Vonder, como mostra a Figura 5.10.b. Ela retira a camada fina de pasta, bem como as partículas de bambu que ultrapassam no máximo 10mm acima do limite do molde. A segunda etapa de lixamento fino é realizada com a Esmerilhadeira/lixadeira angular da marca Makita, com disco de lixa 80mm, conforme Figura 5.10.a. Na terceira etapa é aplicado um verniz incolor para pedra tanto para dar acabamento, quanto como uma possível alternativa de proteção do bioagregado a ataque biológico e umidade.

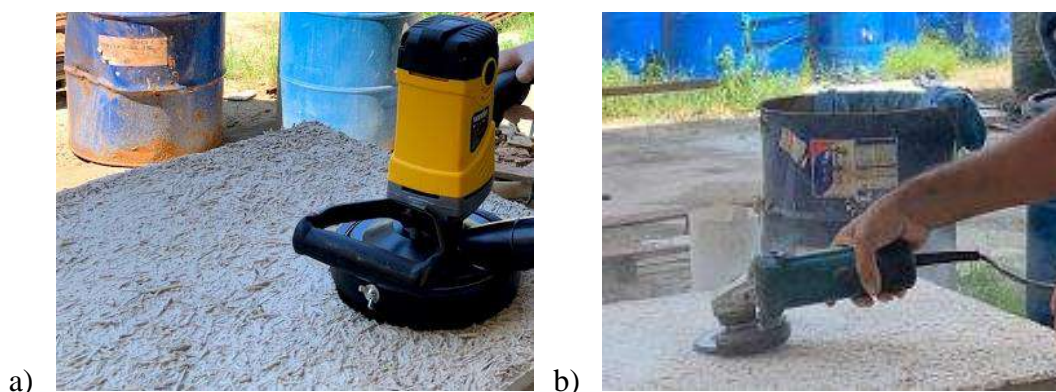


Figura 5.10: a) Equipamento utilizado para lixamento grosso. b) Equipamento utilizado para lixamento fino.

5.2 Estrutura de bambu

A estrutura dos painéis pré-fabricados é composta por colmos de bambu tratados por cozimento com diâmetro médio de 80 mm e 2500 mm de comprimento. As chapas de bioconcreto possuem função de vedação e a carga principal que recebem é seu peso próprio. A maior transferência de cargas é recebida pelos colmos de bambu, devido ao peso do telhado e as cargas de vento que ele sofre (sucção).

Para garantir que a estrutura em bambu não venha a colapso, foram realizados cinco tipos de ensaios estruturais de colmo de bambu: três de resistência à compressão e dois de resistência à tração na ligação viga-pilar, conforme plano experimental da Figura 5.11.

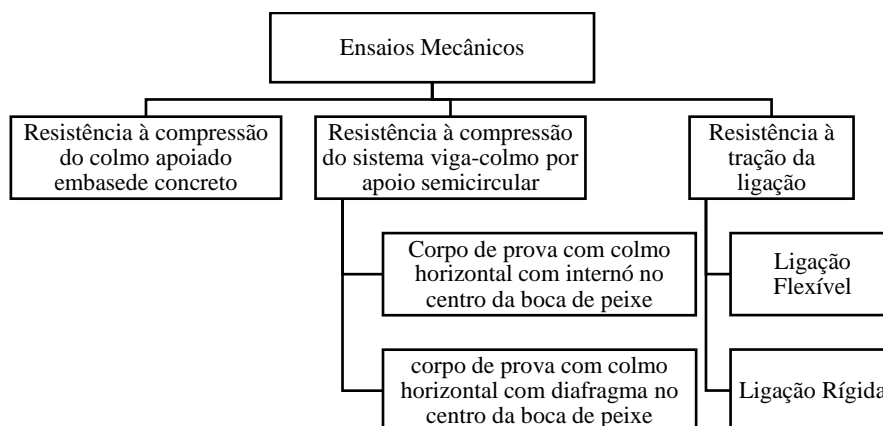


Figura 5.11: Síntese dos ensaios mecânicos estruturais do bambu.

5.2.1 Beneficiamento dos colmos para ensaios mecânicos

Os ensaios mecânicos de resistência à compressão uniaxial das estruturas em bambu propostas no projeto de estudo de caso no capítulo 3 deste trabalho necessitam de corpos de prova com cortes e montagens específicas. Estes modelos visam simular em escala reduzida o comportamento mecânico da estrutura do abrigo, ter parâmetros para construções em bambu de pequeno porte e consequentemente, verificar se é viável a construção da edificação.

Como o telhado se apoia nas vigas, que transferem as cargas para os pilares foram feitos corpos de prova com um trecho do sistema viga-pilar para aplicação de carga concentrada. É composto por um colmo na vertical com espera tipo boca de peixe para assentamento de um segmento de colmo na horizontal apoiado sobre ele. O sistema é unido com ligação flexível. Os corpos de prova para ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular possuem duas tipologias: colmo horizontal com diafragma no centro da boca de peixe e colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe, conforme estudo preliminar na Figura 5.12. Quando se realizou o ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo com internó no centro da boca de peixe não se observou danos na base de concreto e para acelerar os procedimentos, pois o tempo total cura é de 42 dias (bioconcreto + concreto convencional), realizou-se o

ensaio com diafragma no centro da boca de peixe sem a base, já que todo o fenômeno ocorreu na parte superior do corpo de prova (conforme será discutido no item 6.3.2 deste estudo).

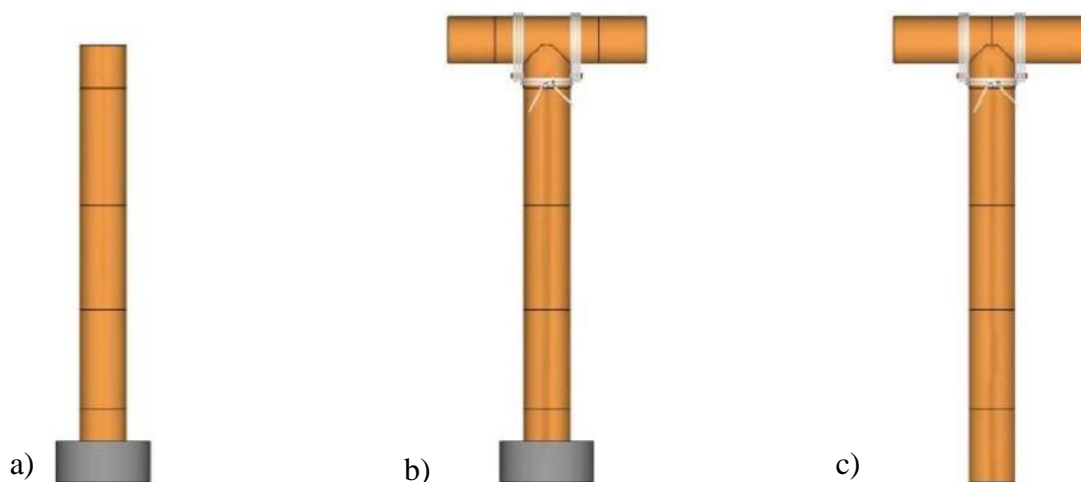


Figura 5.12: a) Representação do corpo de prova para ensaio de resistência à compressão do colmo. b) Representação do corpo de prova com colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe. c) Representação do corpo de prova com colmo horizontal com diafragma no centro da boca de peixe.

Gomes (2019) estuda a interação da quantidade de nós do bambu e resistência à compressão, testando corpos de prova com 1 e 2 nós, e afirma que quanto maior a quantidade de nós, maior será a resistência à compressão uniaxial devido a função enrijecedora que o nó proporciona nas estruturas de bambu, tornando o aparecimento de fissuras proporcionalmente tardio. Para representar de maneira mais fiel a resistência à compressão do colmo foram realizados corpos de prova com 4 nós, valor bem próximo do comprimento de flambagem da estrutura de bambu do painel pré-fabricado.

5.2.1.1 Preparação de corpo de prova para ensaio de resistência à compressão do colmo

Os procedimentos para a produção dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão com rótula podem ser vistos na Figura 5.13. O processo é

subdividido em quatro grupos gerais: beneficiamento dos colmos, produção de formas, aderência e concretagem da base.

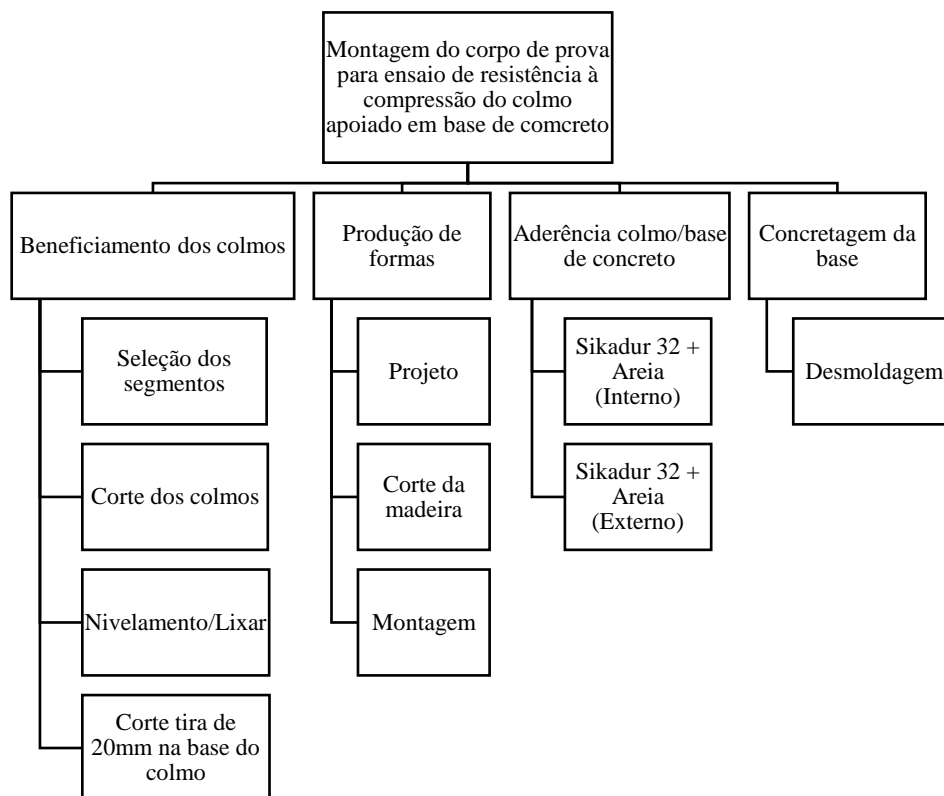


Figura 5.13: Síntese do processo de obtenção dos corpos de prova para ensaio de resistência à compressão do colmo .

Foram selecionados 3 colmos de bambu com diâmetro médio entre 73 mm e 80 mm para corte dos segmentos. Cada segmento foi cortado de forma preliminar com uma Serra Tico-tico e possuem variação de comprimento de 800 mm a 840 mm, compreendendo obrigatoriamente 3 internós (4 nós). A Figura 5.14 apresenta um exemplo das regiões do colmo em que foram retirados os segmentos. A máquina de ensaios de compressão possui 840 mm de vão para assentar o corpo de prova, portanto é a dimensão máxima a ser utilizada neste estudo. Hidalgo-Lopez (2003) em seu estudo sugere que a dimensão ideal do corpo de prova para testes de compressão é de 1, 2 e 3 metros de

comprimento, pois são as dimensões mais utilizadas nas construções em bambu. Portanto, quanto mais próxima a dimensão utilizada na estrutura proposta, mais realista será o resultado.

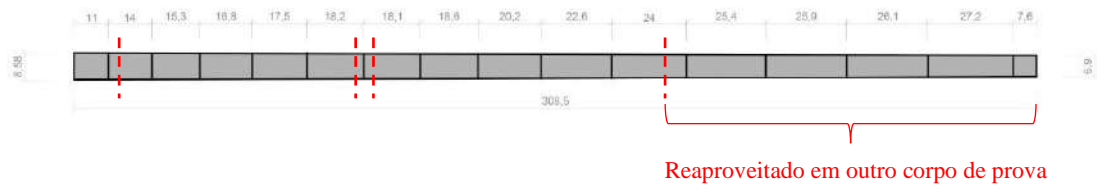


Figura 5.14: Regiões selecionadas do colmo.

Após cortados em 5 segmentos, a borda de cada extremidade dos corpos de prova foi lixada com lixadeira de bancada (Figura 5.15.a) até nivelamento. Posteriormente, um segmento com 20 mm de comprimento foi cortado de cada corpo de prova. A Figura 5.15.b mostra o resultado obtido após o processo e a relação entre as dimensões.

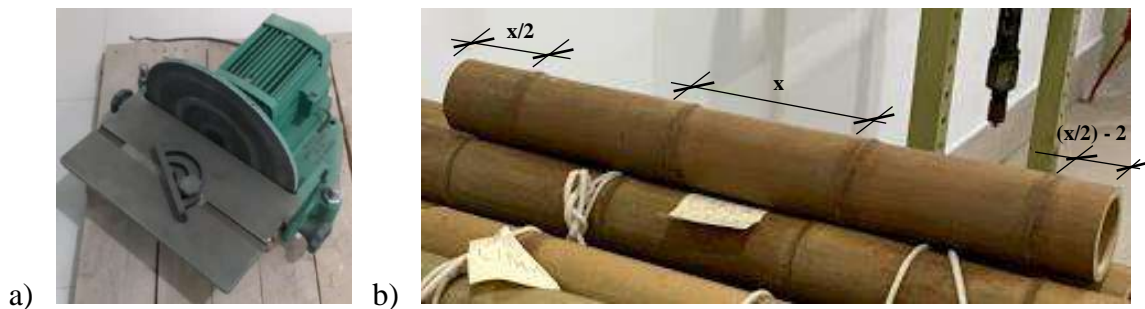


Figura 5.15: a) Lixadeira de bancada. b) Relação métrica das dimensões do colmo.

5.2.1.2 Preparação de corpo de prova para ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular

Os procedimentos para a produção dos corpos de prova para o ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular podem ser vistos na Figura 5.16. O processo é composto por dois tipos de amostras: com colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe e colmo horizontal com diafragma no centro da boca de peixe, sendo este primeiro apoiado em base de concreto. Ambos serão montados com ligação do tipo flexível.

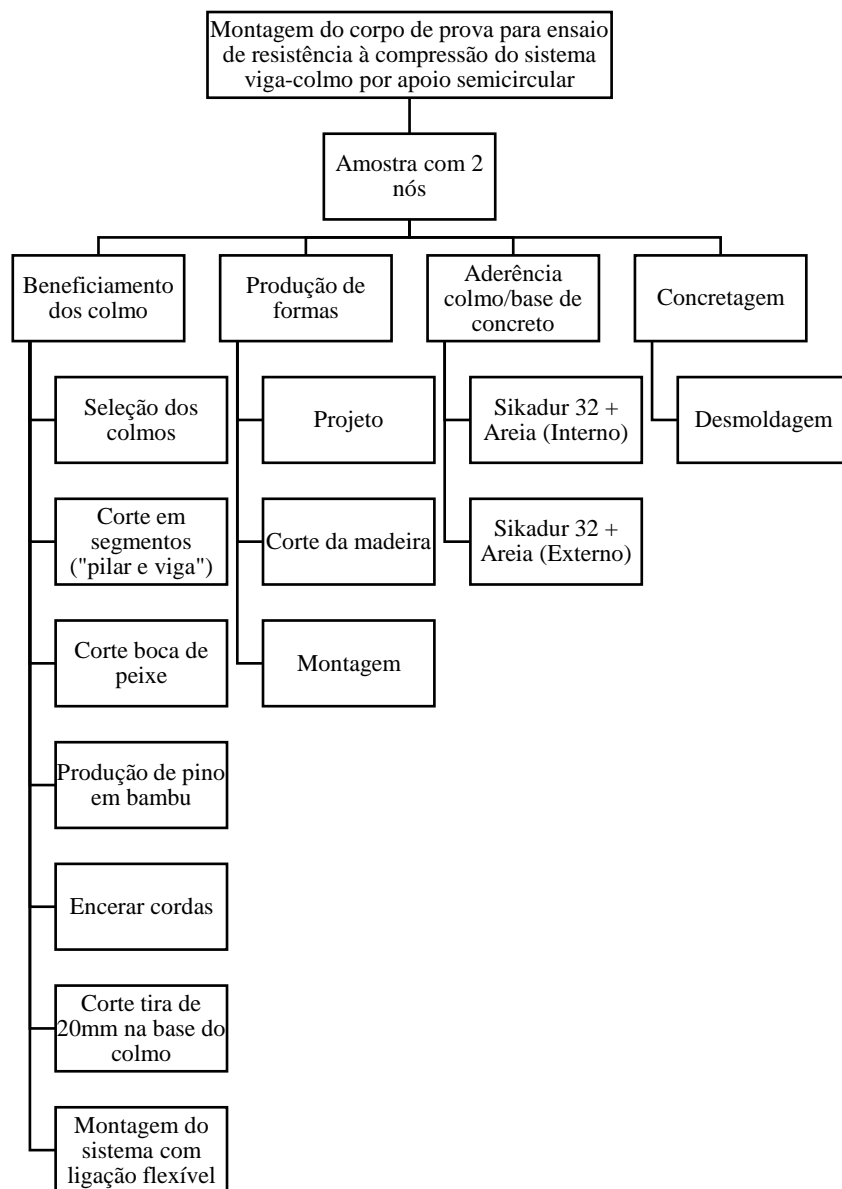


Figura 5.16: Síntese do processo de obtenção dos corpos de prova com para ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular.

Corte e encaixe dos segmentos de colmos de bambu

Após selecionados os colmos de bambu, foram cortados 10 segmentos com variação de 620 a 840 mm mantendo o mesmo esquema dimensional exibido na Figura 5.15.

A norma colombiana NTS 5407 “União em estruturas com *Guadua angustifolia Kunt*” estabelece alguns parâmetros para o encaixe tipo boca de peixe, porém especificamente para *Guadua angustifolia kunt* (Figura 5.17). Este trabalho usa o encaixe

boca de peixe proposto pela norma peruana em bambu Mossô com ligação flexível em fibra natural.

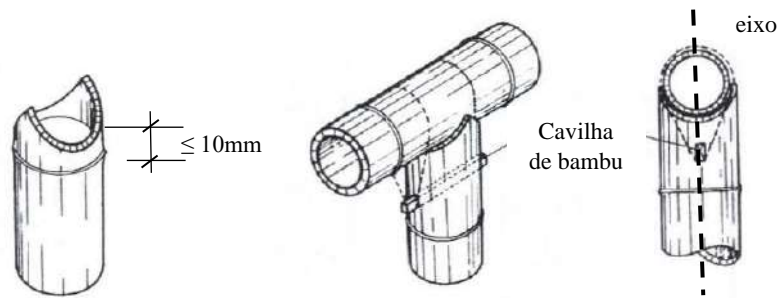


Figura 5.17: Parâmetros para encaixe tipo boca de peixe. Adaptada de Hidalgo-Lopez (2003).

Para a execução da boca de peixe, foi utilizada uma serra copo para madeira com diâmetro de 68 mm (2-11/16”) e furadeira com broca. Foi escolhida a direção do maior diâmetro do segmento para posicionar a furadeira com broca e serra copo, conforme mostra a Figura 5.18.a. A broca inicia a perfuração para garantir maior estabilidade da serra copo e começar seu corte. O pedaço da primeira parede foi descartado antes de dar continuidade a perfuração, a fim de evitar acidentes e garantir o corte adequado. A perfuração da segunda parede foi realizada no mesmo sentido da inicial, aproveitando-se da abertura previamente feita. O resultado pode ser observado na Figura 5.18.b. A peça foi finalizada na serra de fita para cortar as partes sobressalentes (Figura 5.18.c).

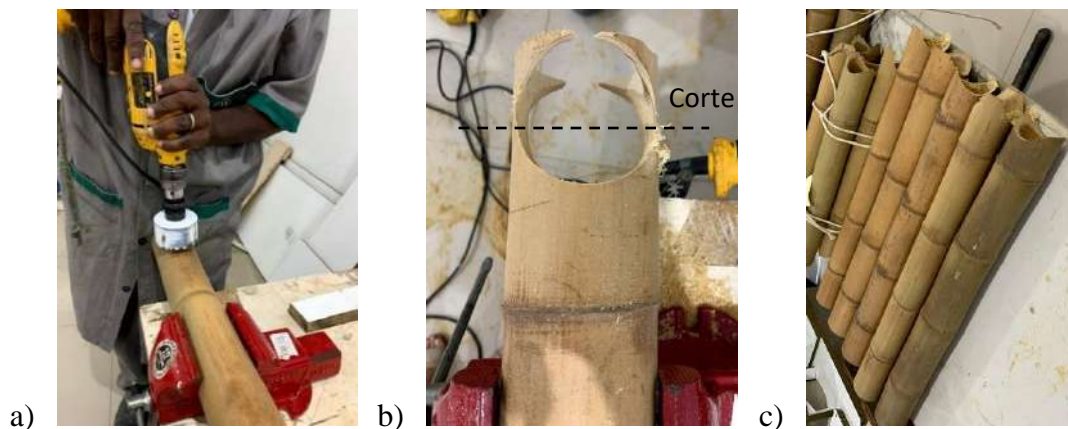


Figura 5.18: a) Posicionamento da serra copo e do segmento de bambu. b) Furação com serra copo. c) Segmento de colmo com boca de peixe.

A base do corpo de prova foi lixada com lixadeira de bancada a fim de garantir o nivelamento da peça na máquina. A partir dos pedaços restantes dos colmos de bambu

inicial, foram cortados 10 segmentos com 340 mm cada, sendo 5 deles com 1 nó no centro do segmento e os outros 5 com um internó central.

Nos colmos com boca de peixe foram feitos os furos ovais com broca de 4mm, que são compostos por um furo com a broca sucedido de outro imediatamente abaixo. A Figura 5.19 evidencia a distância do ponto mais baixo da boca até o início da primeira furação.

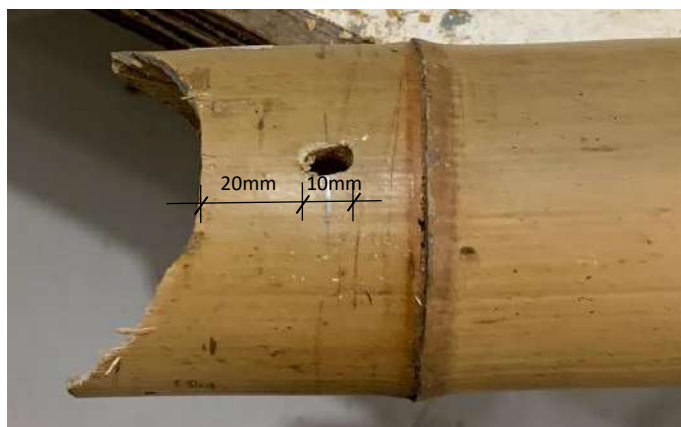


Figura 5.19: Posicionamento do furo oval.

Pino em bambu

O uso de pinos como parte da ligação já é realizado em estruturas e mobiliários em madeira, e também foi aplicado em construções com bambu. Padovan (2010) afirma que os pinos, os quais devem possuir de 8 a 12 mm de diâmetro para colmos de 70mm de diâmetro aproximado, são responsáveis pela ancoragem das amarrações (ligações flexíveis) e pela transferência de esforços para as paredes do colmo. Os pinos podem ser fabricados em madeira ou com bambu. O bambu para a fabricação de pinos deve estar seco, do contrário, o material verde se retrai, ocasionando o afrouxamento e a separação da peça (CUSACK, 1999).

Para a fabricação dos pinos, foi selecionado um internó de colmo com espessura de parede média de 10mm. Conforme procedimento de Gomes (2019) para a fragmentação de colmos em ripas, foram feitos 8 cortes com serra de bancada, exemplificada na Figura 5.20.a, e posteriormente a região correspondente ao nó foi parcialmente retirada com o auxílio de um martelo (Figura 5.20.b).



Figura 5.20: a) Cortes no segmento com serra de bancada. b) Retirada dos nós.

Após a retirados os fragmentos do nó, a peça é levada até a plaina para a retirada das camadas mais externa e interna das ripas de bambu (Figura 5.21.a) e então serem polidas em um desengrosso, como mostra a Figura 5.21.b.



Figura 5.21: a) Retirada das camadas interna e externa com plaina. b) Polimento no desengrosso.

As ripas tiveram sua seção retangular reduzida para uma quadrada de aproximadamente 9,5 mm de lado com a serra circular (Figura 5.22.a). É possível visualizar se o corte foi feito de forma adequada colocando cada ripa disposta uma ao lado da outra em uma superfície plana (Figura 5.22.b). Com o auxílio de um nível foi verificado então se o conjunto estava nivelado.



Figura 5.22: a) Corte com serra de bancada das ripas em seções menores. b) Ripas niveladas.

As ripas quadradas de bambu foram cortadas em segmentos de 100 mm com serra de fita e levadas a um molde de madeira (de fabricação própria e específica) para fixação da peça (Figura 5.23.a). Após fixadas individualmente, cada peça foi desgastada com plaina manual em seus quatro vértices, com 4 passadas em cada, a fim de modificar a seção transversal quadrada em oval. O resultado obtido no processo de modificação da geometria da seção pode ser observado na Figura 5.23.b.

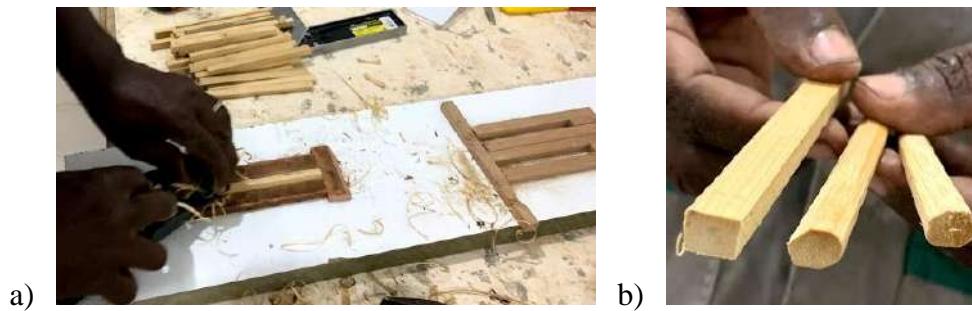


Figura 5.23: a) Molde para desgaste da peça. b) Modificação da geometria da seção.

O pino produzido tinha seção transversal ovalada como mostra a Figura 5.23.b. O maior diâmetro da seção do pino foi posicionado na direção paralela às fibras do segmento do colmo (Figura 5.24), pois esse é o caso mais desfavorável, conduzindo aos resultados mais baixos.

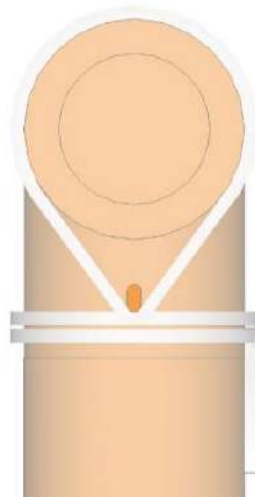


Figura 5.24: Posição crítica do pino com seção oval utilizado no presente estudo.

Encerar cordas

Este trabalho estuda a utilização de fibras naturais como ligação em estruturas de bambu. Foi escolhida a corda da marca TATI-BITATY composta por fibras 100% de

algodão. É produzida de forma industrial, em rolos com 50 m de corda do tipo Extra, ou seja, com seção circular de 8 mm de diâmetro. O modelo escolhido pode ser visto na Figura 5.25. Para a amarração dos colmos foram cortados com tesoura 10 segmentos de corda com 1600 mm cada. A fim de prolongar possivelmente a vida útil da corda em relação ao manuseio e ataques biológicos foram aplicadas manualmente três camadas de Cera Carnaúba Pasta Incolor da marca Lacxe (Figura 5.25) até adquirir uma camada resultante uniforme. Segundo o fabricante, é uma cera natural dura e proporciona impermeabilização e fechamento de frestas das madeiras, devido a elevada concentração de ácidos graxos em sua composição.



Figura 5.25: a) Corda feita com fibras 100% algodão. b) Cera de carnaúba em pasta.

Montagem do corpo de prova com colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe

Neste caso, antes de realizar a montagem, foi cortada uma seção da base com 20 mm de comprimento de cada corpo de prova com serra de fita para posterior fixação, concretagem e desmoldagem. Os elementos que compõem esta montagem podem ser vistos no esquema da Figura 5.26.a. A base plana é então colocada em uma superfície nivelada, deixando a boca de peixe livre. Em seguida foi posicionado o colmo com 340mm com o internó no centro da boca de peixe, porém garantindo perfeito nivelamento com o auxílio de um nível pequeno, o que pode ser visto na Figura 5.26.b. Após nivelado, é marcada com lápis a posição exata do colmo. Posteriormente, o pino é inserido no local furado e então foi realizada a amarração com a corda encerada, com tipo de amarração sugerida na pesquisa de Hidalgo-Lopez (2013), porém com três voltas. O nó de finalização é o denominado nó direito, utilizado nas atividades da Marinha, como atar os

rizes das velas, reduzindo sua superfície. O nó direito consiste em duas laçadas feitas em sentidos opostos de modo que os chicotes do cabo fiquem do mesmo lado, paralelos ao seio e opostos um ao outro.

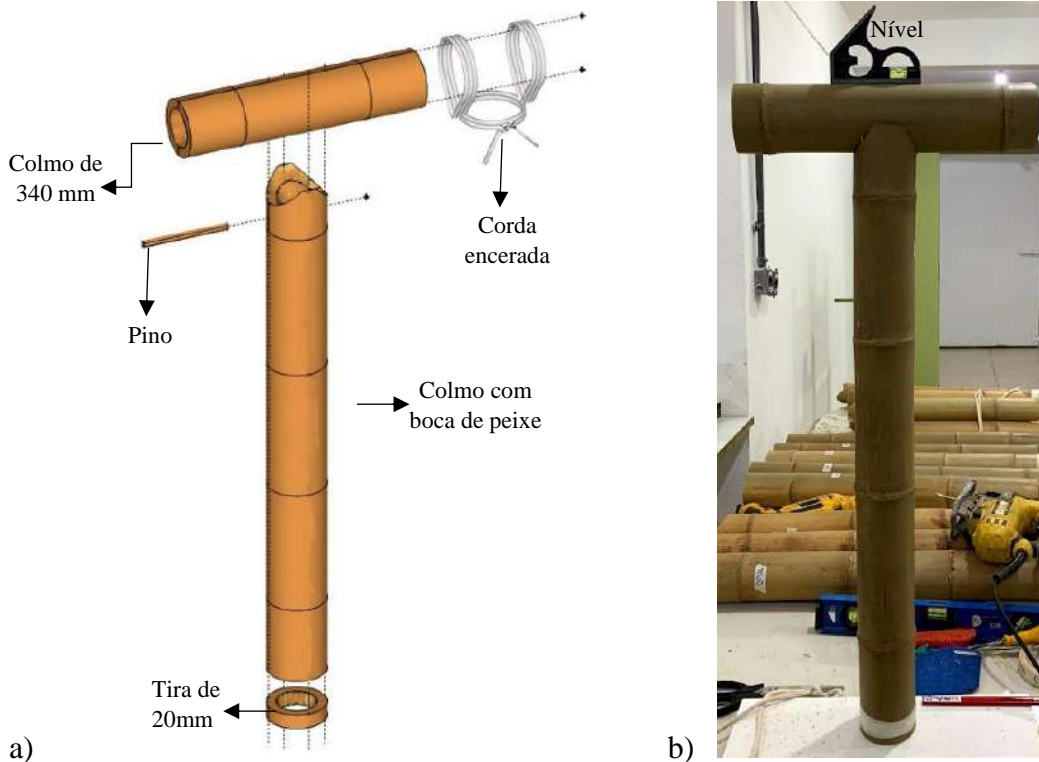


Figura 5.26: a) Representação esquemática do corpo de prova com colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe. b) Nivelamento viga-pilar antes de aplicada a ligação flexível.

Montagem do corpo de prova com colmo horizontal com diafragma no centro da boca de peixe

Os elementos produzidos que compõem os corpos de prova, se encontram no esquema da Figura 5.27. A extremidade plana do segmento do colmo com 580 mm a 800 mm de comprimento foi colocada em uma superfície nivelada, deixando a boca de peixe livre. Em seguida foi posicionado o colmo com 340 mm com um nó central no eixo da boca de peixe, porém com o auxílio de um nível pequeno, foi verificado o nivelamento da peça. Após marcada a posição exata do colmo na horizontal com lápis, foi inserido o pino, feita a amarração com 3 voltas e finalizada com o nó direito.

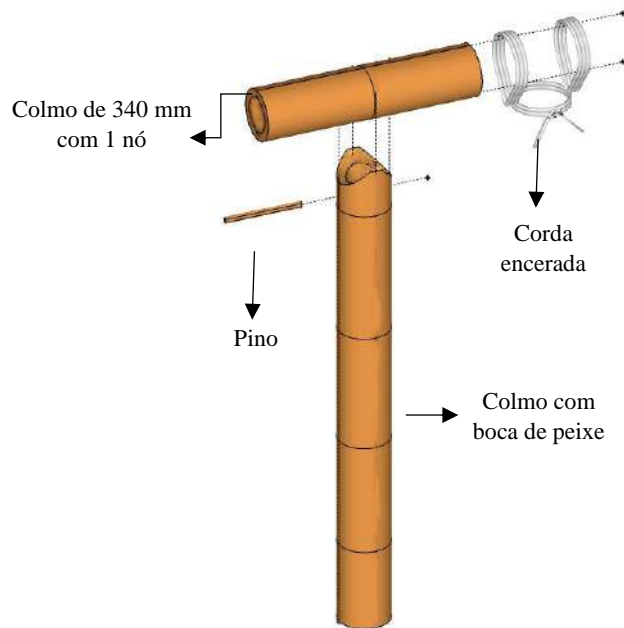


Figura 5.27: Representação esquemática do corpo de prova com colmo horizontal com diafragma no centro da boca de peixe central.

5.2.2 Produção de formas

A forma para concretagem dos colmos é composta por resíduos de tubulação com seção de 150 mm, correspondente a aproximadamente o dobro do diâmetro dos colmos de bambu utilizados nos corpos de prova. Foram cortadas 10 unidades de segmentos de tubulação em PVC com 90 mm de comprimento. Para a fabricação do fundo da forma, foram cortadas 10 unidades de chapas circulares com diâmetro de 150 mm com MDF Branco Ultra Premium de 18 mm de espessura da marca Duratex. Em seguida, o fundo foi encaixado nos segmentos tubulares de PVC com o auxílio do martelo, até uma das faces do MDF estar no mesmo nível do limite de uma das extremidades do PVC.

A fim de evitar um possível flambagem do PVC durante a concretagem, foram cortados anéis com chapa de MDF Branco Ultra Premium de 18 mm de espessura da marca Duratex, conforme mostra a Figura 5.28.a, sendo a diferença entre o diâmetro externo e interno de 40 mm. Foram adicionados quatro segmentos de 72 mm x 40 mm (comprimento e largura) do mesmo MDF reforçados com triângulos retângulos de aresta igual a 40 mm, conforme mostra a Figura 5.28.a, para melhor apoio da peça durante o processo de concretagem. Os segmentos de MDF reforçados foram unidos aos anéis com

Adesivo Instantâneo 793 da marca Tek Bond em quatro regiões opostas. Também foram cortados quatro segmentos retangulares para cada forma com resíduos de madeira adaptados segundo o diâmetro do colmo, o qual deve ficar centralizado na forma, com dimensão média de 115 x 20 x 5 mm (comprimento, largura e espessura). Estes segmentos foram aparafusados nos anéis de MDF para manter os colmos na mesma posição durante todo o procedimento de concretagem e cura. O resultado pode ser visto no esquema da Figura 5.28.b.

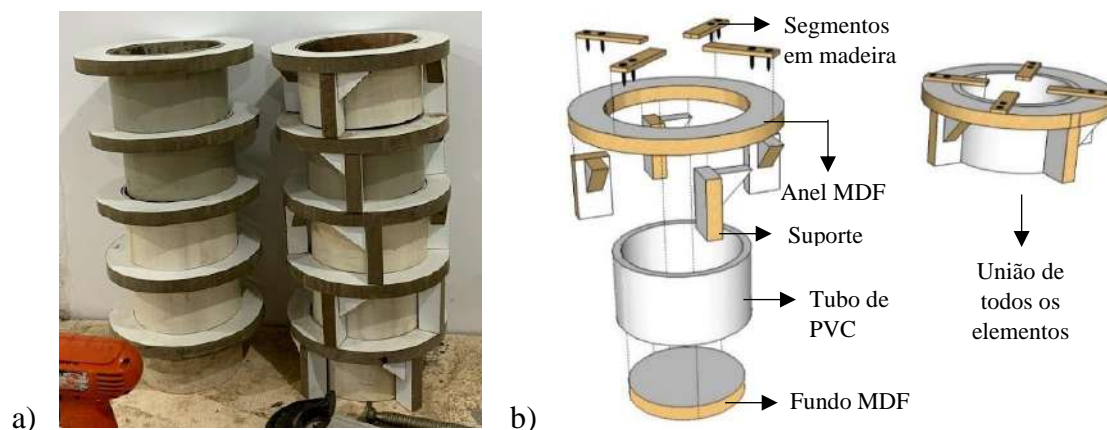


Figura 5.28: a) À esquerda forma apenas com anel e à direita com anel, apoio e reforço. b) Representação esquemática dos elementos da forma.

5.2.3 Aderência

Antes de realizar a concretagem da base até o primeiro nó do corpo de prova com bioconcreto de bambu e da região externa do colmo com concreto de RCD, foi necessário executar o tratamento do revestimento. Da Silva (2019) sugere em seu trabalho o tratamento de ripas de bambu com Sikadur 32 e areia em relação a matriz de bioconcreto para garantir aderência entre ambos, sem interferência da concentração de biomassa da mistura do bioconcreto e este trabalho utilizou como base a mesma metodologia. A areia foi peneirada em peneirador mecânico por 5 minutos. Foram utilizadas as partículas passantes na peneira de 1,18 mm de abertura de malha.

Primeiro foi realizado o tratamento do revestimento interno da base até o primeiro nó do segmento do corpo de prova para ensaio de resistência à compressão do colmo e para o ensaio de resistência à compressão do corpo de prova com colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe. Com o pedaço de 20 mm retirado dos corpos de prova, uma camada de Sikadur 32, com variação de 0,5 mm a 1 mm de espessura, foi passada

na parede interna do colmo e no nó. Após 5 minutos com a resina ainda fresca, foi aplicada a areia peneirada até que toda a região estivesse visivelmente coberta. A resina foi aplicada diretamente com um pincel e a areia polvilhada, apenas espalhada com rotações no colmo em sentido horário colocadas. Em seguida foram dispostas para secar durante 24 horas (Figura 5.29.a). O mesmo procedimento foi realizado na parede externa do colmo, porém apenas em 50 mm de comprimento a partir da base do corpo de prova, demarcado com fita crepe, como exemplifica a Figura 5.29.b. Após 24 horas a fita crepe foi retirada e os corpos de prova poderiam ser concretados (Figura 5.29.c).

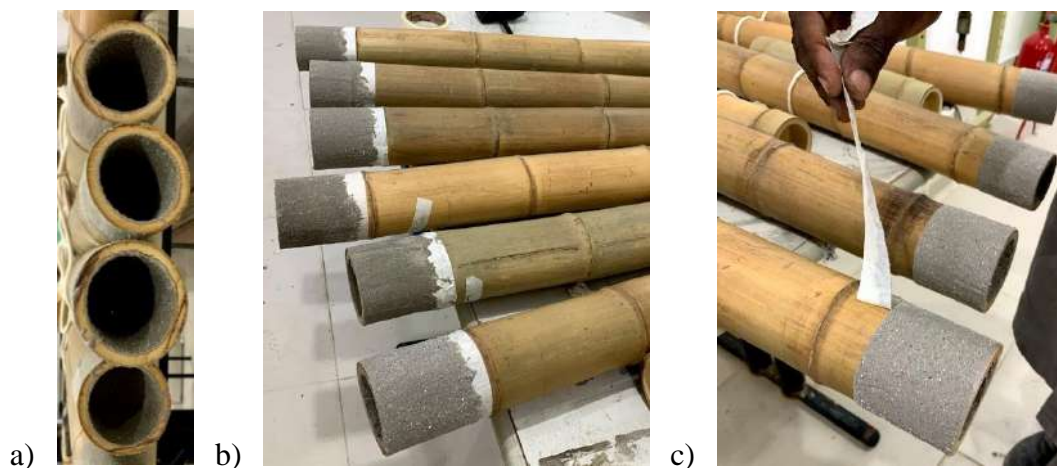


Figura 5.29: a) Sikadur 32 + areia aplicado no interior do colmo. b) Sikadur 32 + areia aplicado no exterior do colmo. c) Retirada da fita crepe após secagem.

5.2.4 Concretagem

A concretagem foi realizada em duas etapas. A primeira com bioconcreto de bambu na região interna do colmo, a fim de impedir que a base do bambu ficasse em contato direto com o fundo da forma e a segunda com concreto de RCD para dar mais estabilidade ao corpo de prova na máquina de ensaios.

5.2.4.1 Bioconcreto de bambu

Antes de realizada a concretagem, foram colados com Adesivo Instantâneo 793 da marca Tek Bond todos os segmentos de bambu com 20 mm de comprimento em seus respectivos corpos de prova. Esses segmentos terão papel de “forma” na concretagem do bioconcreto, conforme mostra a Figura 5.30. Cada um recebeu uma fina camada de óleo mineral para facilitar a posterior desmoldagem.



Figura 5.30: Segmentos de 20 mm colados na base do pilar.

A concretagem foi feita segundo metodologia e mistura descritas no item 4.2.4.1 deste estudo para corpos de prova cilíndricos de caracterização do bioconcreto de bambu utilizado. Foi concretado também em 3 camadas com vibração de 15 segundos entre o lançamento de cada uma delas. Em seguida foram inseridos em um balde seco para permanecerem na posição vertical por 24 horas, quando ocorreu a desmoldagem dos segmentos de 20 mm previamente colados (Figura 5.31). Os corpos de prova foram curados em cura seca, onde permaneceram em temperatura e umidade controladas ($UR=55 \pm 2\%$ e $T=21 \pm 2^\circ\text{C}$) até atingirem 14 dias. Após esse período, o bioconcreto foi faceado para nivelamento do corpo de prova na forma da próxima concretagem.



Figura 5.31: Colmos concretados com bioconcreto de bambu com 45% de biomassa.

5.2.4.2 Concreto convencional

Antes da concretagem, os corpos de prova faceados foram posicionados no centro da forma com PVC, como exemplifica a Figura 5.32. A concretagem foi realizada conforme dosagem e procedimentos descritos, respectivamente, nos itens 4.3.1 e 4.3.2 deste estudo. Os corpos de prova foram levados a câmara de temperatura controlada, onde

foram novamente nivelados com o auxílio de um nível para garantir o prumo durante o enrijecimento do concreto convencional.



Figura 5.32: Colmos fixado no centro da forma de madeira.

Embora Rangel (2019) recomende a cura do concreto convencional em câmara úmida com umidade relativa de 100% e temperatura de $21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, neste caso não foi aplicado. Como o concreto é acompanhado de colmos de bambu, o contato direto deste último com água pode gerar o seu apodrecimento. Portanto, a cura do corpo de prova foi realizada em cura seca ($\text{UR} = 55 \pm 2\%$ e $T = 21 \pm 2^{\circ}\text{C}$). A cada 24 horas, o concreto convencional era umedecido para evitar que o mesmo perdesse água para o ambiente durante os 28 dias de cura.

5.2.5 Ensaios Mecânicos

Embora ainda não exista uma norma oficial de métodos de ensaios, é sabido que o bambu possui bom desempenho mecânico, o que explica seu uso na construção civil em diversas nações e aplicações. Ghavami e Albanise (2004) afirmam que se as propriedades mecânicas e físicas do bambu forem identificadas e estudadas poderão ser aplicadas em projetos estruturais com dimensionamento adequado.

5.2.5.1 Ensaio de resistência à compressão do colmo

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaios da marca *Shimadzu* AG-X, com capacidade de carga de 1000 kN

em 5 corpos de prova com velocidade de deslocamento de 0,3 mm/min. A carga foi aplicada com uma rótula.

A fim de obter os deslocamentos longitudinais, foram instalados dois LVDTs (linear variable differential transformer), um de cada lado do copo de prova, ou seja, de modo transversal ao deslocamento, com o auxílio de um anel metálico (Figura 5.33.a). As deformações circunferenciais foram obtidas por um LVDT fixado em um suporte metálico que o mantinha na posição central do internó do meio do tubo de bambu (Figura 5.33.b). Com isso foi possível determinar o coeficiente de Poisson e assim o efeito do diafragma na deformação circunferencial do tubo de bambu. Gomes (2019) propõe em seu estudo com diferentes tipos de corpos de prova o setup supracitado para ensaios de compressão uniaxial. Este trabalho também se baseia em sua metodologia de cálculo.

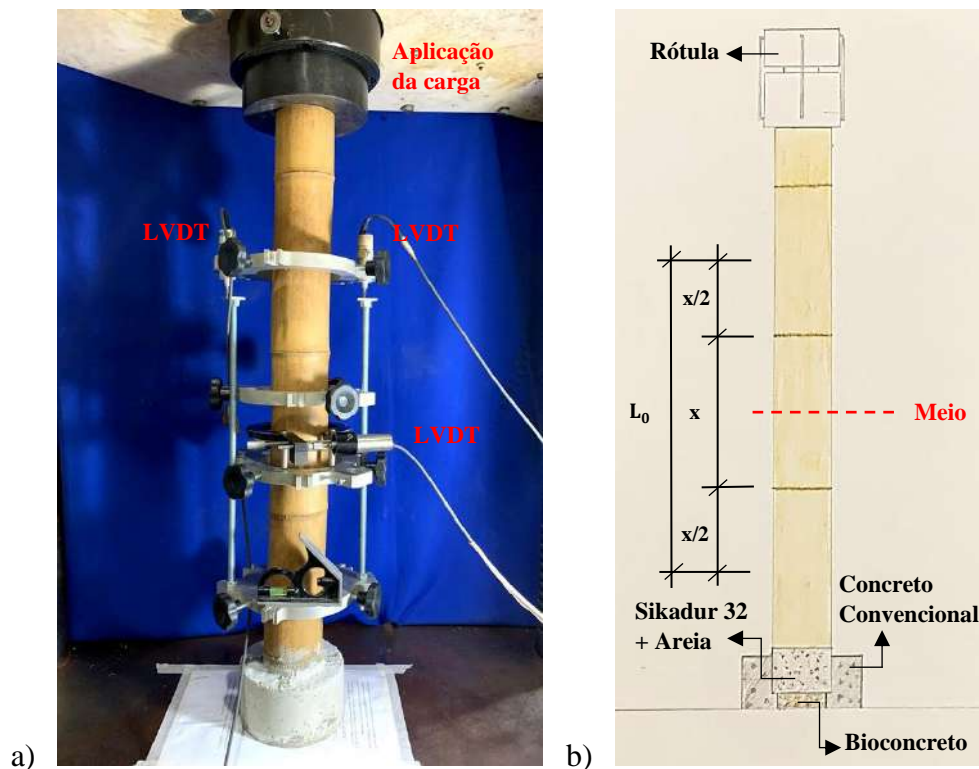


Figura 5.33: a) Setup do ensaio de resistência a compressão do colmo de bambu. b) Desenho esquemático do posicionamento do LVDT central.

O sistema de aquisição de dados da ADS 2000 - 16 bits, da Lynx registrou as cargas aplicadas e os deslocamentos axiais. A tensão de compressão máxima foi obtida através da Equação 5.1.

$$F_{C0} = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A} \quad (5.1)$$

Na qual:

F_{C0} = Resistência à compressão paralela as fibras (Mpa);

$F_{m\acute{a}x}$ = Carga máxima (N);

A = Área de seção transversal (mm).

Para o cálculo da área da seção transversal resistente, foi medido o diâmetro dos corpos de prova e a espessura da parede em quatro regiões distintas e opostas. Em seguida foi calculada a média aritmética a fim de obter as dimensões médias. Através da Equação 5.2 foi calculada área resistente.

$$A = \pi(R^2 - (R - t)^2) \quad (5.2)$$

Na qual:

A = Área de seção transversal (mm);

R = Raio médio do corpo de prova (mm);

t = Espessura média da parede do corpo de prova (mm).

O módulo de elasticidade secante foi determinado através da Equação 5.3, a partir das curvas de Tensão (σ) versus deformação (ε).

$$E = \left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_{a2} - \varepsilon_{a1}} \right) \quad (5.3)$$

Na qual:

E = Módulo de elasticidade na compressão (GPa);

σ_2 = Tensão correspondente a 50% da tensão máxima (MPa);

σ_1 = Tensão correspondente a 10% da tensão máxima (MPa);

ε_{a2} = Deformação axial correspondente à tensão σ_2 (mm/mm);

ε_{a1} = Deformação axial correspondente à tensão σ_1 (mm/mm);

5.2.5.2 Ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular

O ensaio de resistência à compressão axial do sistema viga-colmo por apoio semicircular, tanto para os 5 corpos de prova com viga de um internó central como os 5 de um nó central foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios da marca Shimadzu AG-X, com capacidade de carga de 1000 kN com velocidade de deslocamento de 0,3 mm/min. A aplicação da carga no topo do corpo de prova foi realizada com um apoio em formato de semicírculo, o que acomoda melhor a geometria colmo.

Tanto os corpos de prova com viga composta por colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe (Figura 5.34.a) quanto os com diafragma no centro da boca de peixe (Figura 5.34.b) utilizam a mesma instrumentação de LVDTs supracitados no item 5.2.5.1 deste estudo para obter os deslocamentos longitudinais e as deformações circunferenciais.

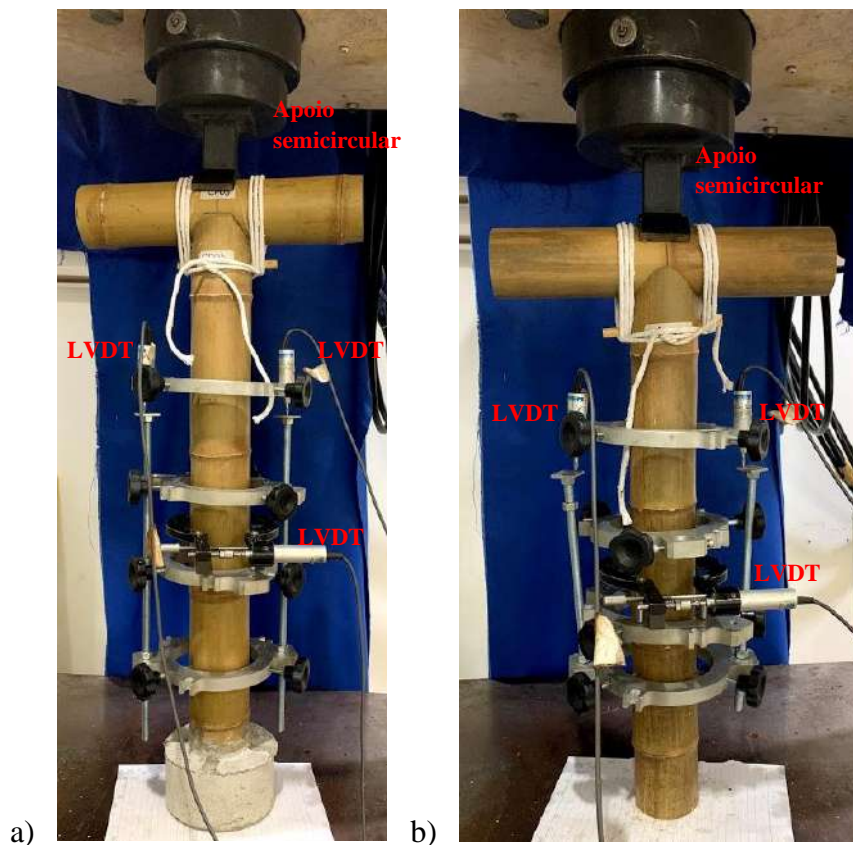


Figura 5.34: a) Setup do corpo de prova com internó no centro da boca de peixe. b) Setup do corpo de prova com diafragma no centro da boca de peixe

5.3 Ligações

Os procedimentos para a produção dos corpos de prova para o ensaio de resistência à tração das ligações das estruturas de bambu propostas por este estudo podem ser vistos na Figura 5.35. O processo é composto por dois tipos: ligação flexível e ligação rígida. O intuito é verificar qual dos dois tipos de ligação une, com mais pontos positivos, ecologia e pré-fabricação. Os corpos de prova de bambu em ambos os casos possuem um pilar composto por um internó acrescido de metade desta medida em ambos os lados. Também são utilizados o mesmo encaixe tipo boca de peixe supracitados no item 5.2.1.2 deste estudo. No entanto, como o intuito é tração na ligação, foram realizadas uma boca de peixe em cada extremidade do corpo de prova, a fim de gerar uma amostra praticamente simétrica. As vigas possuem um internó central, pois é o caso mais frágil em relação a apenas um nó central. Na literatura ainda não há estudos sobre resistência a tração das ligações e nenhuma norma brasileira que apresente as limitações de cada uma delas.



Figura 5.35: Síntese do processo de obtenção dos corpos de prova para ensaio de resistência a tração.

5.3.1 Beneficiamento dos colmos para ensaios de resistência à tração das ligações

A ligação flexível (Figura 5.36.a) escolhida para este estudo é baseada na apresentada por Hidalgo-Lopez (2003), porém com 3 voltas, para maior rigidez. Já a

ligação rígida (Figura 5.36.b) segue os padrões definidos pela Norma peruana NTE.100 (2012), a qual ressalta que para assegurar a rigidez da união deve-se utilizar os reforços necessários, como por exemplo, porcas e arruelas. O objetivo em ambos os casos é buscar o maior contato entre as peças com cortes e encaixes feitos de maneira adequada.

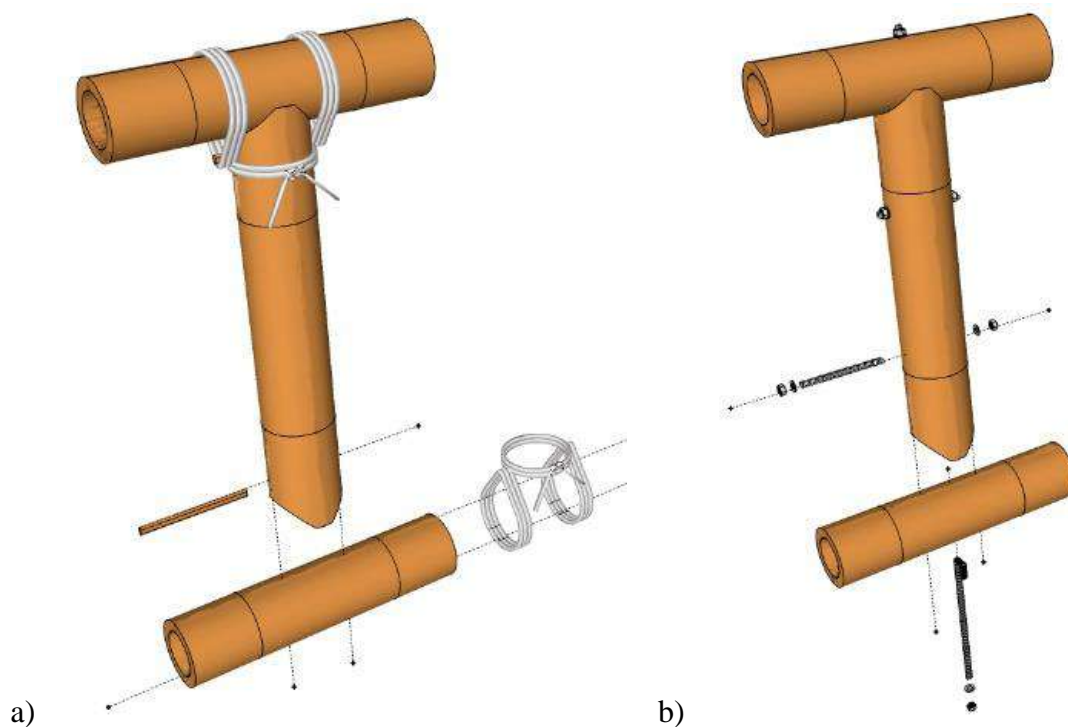


Figura 5.36: a) Corpo de prova com ligação flexível. b) Corpo de prova com ligação rígida.

5.3.1.1 Ligação Flexível

Corte e encaixe dos segmentos de colmos de bambu

Após selecionados os colmos de bambu, foram cortados 5 segmentos com comprimento médio de 600 mm para a simulação dos “pilares” e 10 colmos de 340 mm com 1 internó para a simulação das “vigas”.

Para a execução da boca de peixe, foi utilizado o mesmo método do item 5.2.1.2 deste estudo. No entanto, foram perfurados nas duas extremidades (e na direção do maior diâmetro) os 10 segmentos com comprimento médio de 600 mm com uma serra copo para madeira de 68mm (2-11/16”) de diâmetro com broca, conforme Figura 5.37.a. A broca começou a perfuração até o início da serra copo. O pedaço da primeira parede foi descartado (Figura 5.37.b), assim como o da segunda parede, o qual foi cortado na mesma

abertura previamente feita. O resultado pode ser observado na Figura 5.37.c. A peça foi finalizada na serra de fita para cortar as partes sobressalentes.

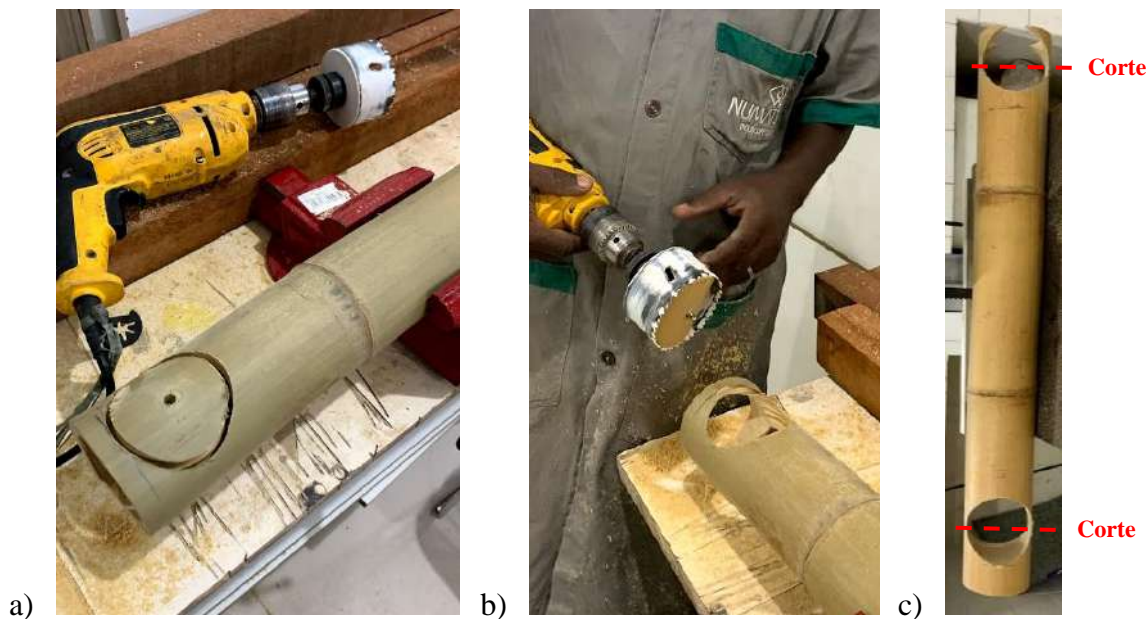


Figura 5.37: a) Corte com serra copo na primeira parede. b) Corte na segunda parede e pedaço descartado dentro da serra copo. c) Dupla furação no colmo.

Após realizados os cortes boca de peixe foram feitos os furos ovais (furo com a sucedido de outro imediatamente abaixo) com broca de 4mm para a instalação do pino, um em cada extremidade. A Figura 5.19 supracitada mostra o início da primeira furação.

Os 10 colmos de 340 mm foram lixados nas extremidades com lixadeira de bancada para melhor acabamento da peça.

Pino em bambu

Os pinos de 100 mm (comprimento) e seção oval foram produzidos segundo material e metodologia supracitados no item 5.2.1.2 deste estudo.

Encerar cordas

Para a amarração das vigas no pilar, foram cortados com tesoura 10 segmentos de corda com 1600 mm cada, sendo 2 para cada corpo de prova. Foi utilizada a mesma corda

e cera de carnaúba em pasta do item 5.2.1.2 deste trabalho, assim como a metodologia para fazer o processo de encerar.

Montagem do corpo de prova

Para a montagem dos corpos de prova, o colmo com 340 mm, com seu centro marcado por lápis, foi posicionado em um torno de bancada, a fim de evitar sua movimentação. Em seguida, foi colocado o colmo com bocas de peixe sobre ele e então o segundo colmo com 340 mm no topo. Com o auxílio de um nível pequeno, foi verificado o nivelamento da peça, conforme mostra a Figura 5.38. Após marcada a posição exata dos colmos na horizontal com lápis, foram colocados os pinos em ambos os lados e feita a amarração com 3 voltas e finalizada com o nó direito.



Figura 5.38: Peça de bambu posicionada e nivelada.

5.3.1.2 Ligação Rígida

Corte e encaixe dos segmentos de colmos de bambu

Os colmos para este corpo de prova foram selecionados e cortados conforme metodologia descrita no item 5.3.1.1 deste estudo, bem como o corte boca de peixe.

Furação dos colmos

Após o corte das bocas de peixe, foram feitos dois furos com broca forstner (Figura 5.39.a), um em cada nó (internamente) para a passagem da barra rosca. A broca forstner equilibra a força aplicada para fazer a furação ao manter a posição desejada do furo. O projeto da ligação pode ser visto na Figura 5.39.b.

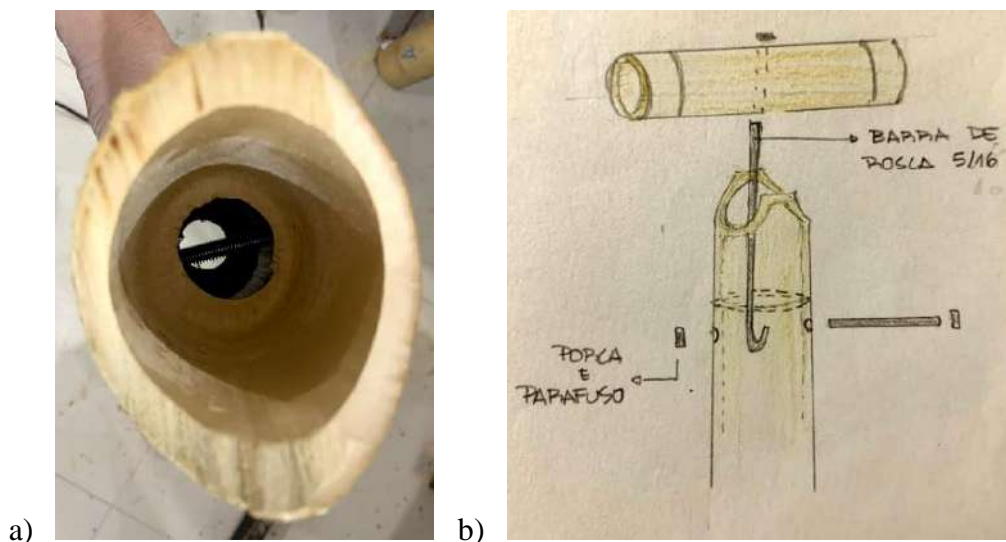


Figura 5.39: a) Furo realizado no nó. b) Projeto de encaixe com ligação rígida.

Nos colmos com boca de peixe foram feitas quatro furações abaixo do nó, em direção ao centro do corpo de prova, sendo paralelas umas às outras e na mesma direção para posterior colocação da barra rosca transversal ao sentido das fibras do bambu.

Os colmos de 340 mm foram furados no meio, ou seja, a 170 mm de uma das extremidades até atravessar as duas paredes, totalizando dois furos, onde serão colocadas as barras rosca de 5/16”.

Cortes e dobras das barras metálicas

Este estudo utiliza barras rosca cromadas de 5/16” para colmos de bambu com diâmetro médio de 80 mm. Foram cortados com arco de serra 10 segmentos com 120 mm de comprimento para serem dispostos transversalmente ao colmo (Figura 5.40.a). Em seguida foram cortados 10 segmentos da barra de 5/16” com comprimento médio de 400 mm. Esses segmentos de 400 mm tiveram uma de suas extremidades dobradas até a formação de um “U”, conforme mostra a Figura 5.40.b.

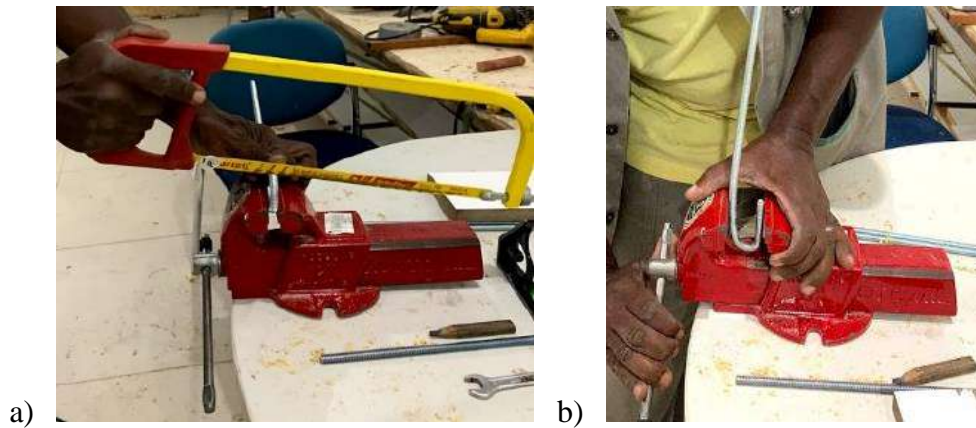


Figura 5.40: a) Corte da barra roscada. b) Dobra na barra roscada em seção “U”.

Montagem do corpo de prova

Os segmentos de 120 mm de barras roscada foram inseridos nos furos do colmo com boca de peixe e fixados com porca e arruela, conforme exemplifica a Figura 5.41.a. Em seguida foram inseridas as barras dobradas, de modo que o “U” prenda transversalmente o segmento de 120 mm (Figura 5.41.b). São inseridos os colmos de bambu de 340 mm de comprimento na barra roscada através da furação prévia. O sistema é fixado com porcas e arruelas. O mesmo procedimento deve ser adotado para ambas as extremidades do corpo de prova. A Figura 5.41.c apresenta o esquema da peça montada com a ligação em perspectiva explodida.

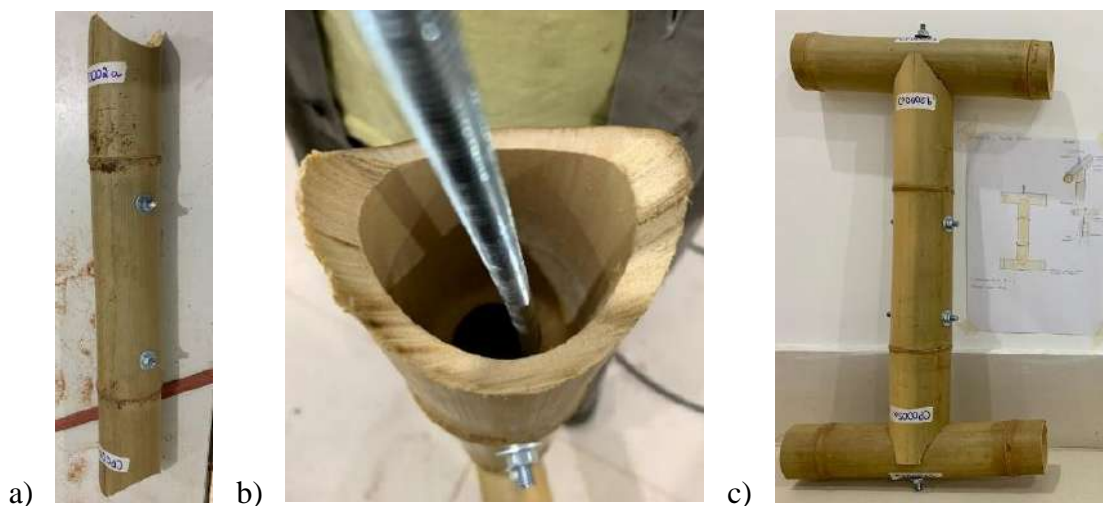


Figura 5.41: a) Barra roscada com porca e arruela. b) Inserção da barra roscada dobrada em “U”. c) Corpo de prova com ligação rígida finalizado.

5.3.2 Ensaio mecânicos da ligação

5.3.2.1 Resistência à Tração

O ensaio de resistência da ligação à tração foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio da marca Shimadzu AG-X, com capacidade de carga de 1000 kN. O ensaio foi feito em 5 corpos de prova com ligação flexível e 5 com ligação rígida, com velocidade de deslocamento de 0,6 mm/min.

A fim de melhor avaliar qualitativamente as imagens geradas durante os ensaios, todos os colmos e ligações foram preparados com a aplicação de uma tinta spray na cor branco fosco (Figura 5.42.a), criando um contraste entre o fundo e o corpo de prova. Na sequência foi borrifada tinta spray na cor preto fosco sobre o fundo branco (Figura 5.42.b).

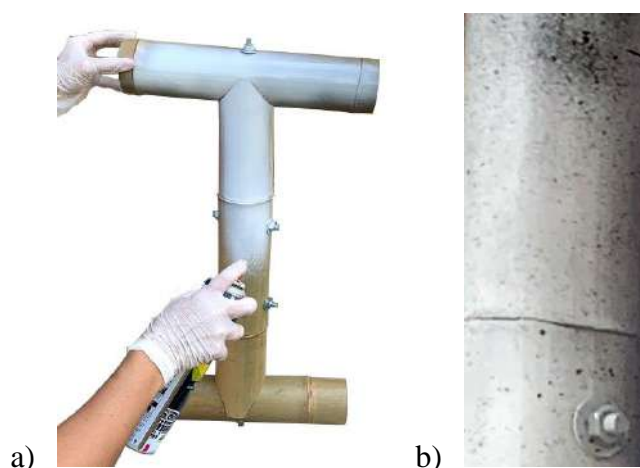


Figura 5.42: a) Preparação da amostra com tinta spray branca. b) Tinta preta spray preta borrifada na superfície branca.

A carga foi aplicada em ambos os tipos de ligação com uma cantoneira de ferro soldada a uma barra também de ferro. O corpo de prova é preso a cantoneira por duas cintas para carga 100% poliéster (uma em cada extremidade) de 25 mm de largura e 2000 mm de comprimento. Cada cinta, segundo dados do fabricante, suporta uma carga de 800 Kg. A cinta foi aplicada sobre a cantoneira como uma bandagem e finalizada com o nó direito. Através da barra de ferro, o corpo de prova é preso no equipamento. A Figura 5.43.a e a Figura 5.43.b apresentam, respectivamente, a amostra com ligação flexível e ligação rígida instalados na máquina de ensaios universal.

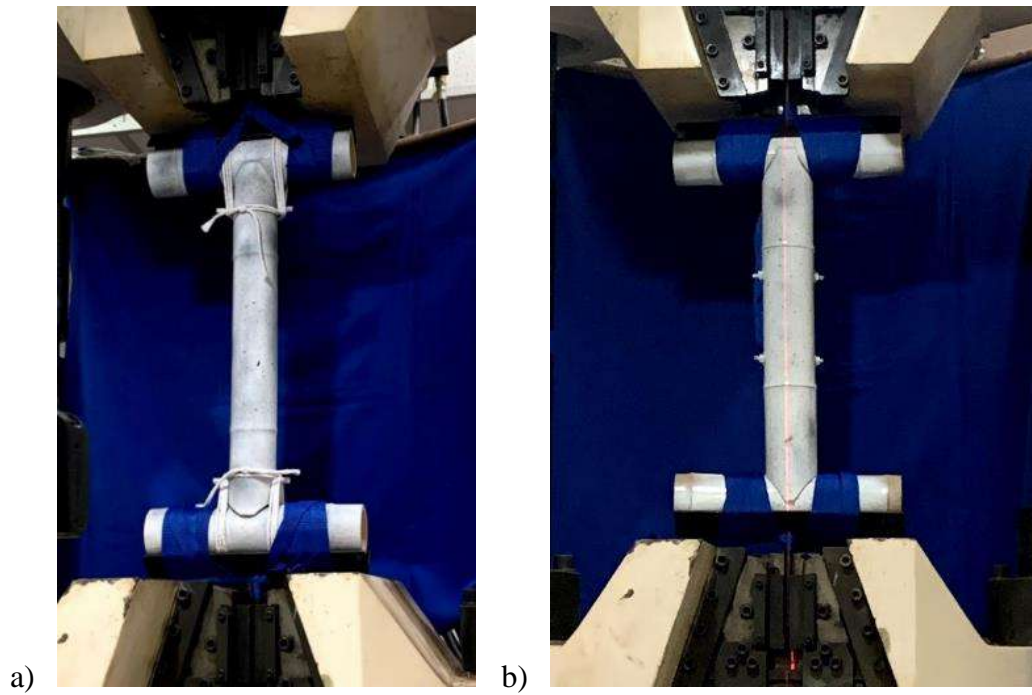


Figura 5.43: a) Esquema do ensaio de resistência à tração da ligação flexível. b) Esquema do ensaio de resistência à tração da ligação rígida.

Quanto a instrumentação, foram instaladas duas câmeras fotográficas focadas na região de interesse, ou seja, no encontro da boca de peixe com o colmo transversal para visualizar a abertura da ligação durante o ensaio.

Capítulo 6

Resultados e discussões

6.1 Propriedades do Bambu

6.1.1 Caracterização Física

A Tabela 6.1, apresenta os resultados da caracterização física dos bambus utilizados nesta pesquisa da espécie *Phyllostachys pubescens*.

Tabela 6.1: Características físicas dos colmos de bambu.

Massa Específica (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)
0,86	12,30

Gomes (2019), em seu estudo para a mesma espécie e idade obtém 0,76 g/cm³ de massa específica e 12,7% de teor de umidade, valores próximos aos deste trabalho. Os resultados também estão em consonância com os obtidos por Ribeiro *et al.* (2019), Xu *et al.* (2014) e Xiaobo, (2004). Segundo Da Silva (2019), a massa específica tem relação com a concentração de feixes fibrovasculares, portanto, o valor encontrado é um pouco superior aos referenciados pela literatura citada pelo fato de as amostras estarem em uma região da parede do colmo com maior concentração de fibras.

Com o valor obtido de massa específica do bambu, foi calculado o peso da estrutura em bambu tubular que compõe a peça pré-fabricada. A massa total foi de 7,68 kg, contemplando os dois colmos juntos.

O teor de umidade interfere tanto nas propriedades físicas como na durabilidade. Wakchaure & Cute (2012) sugerem que o teor de umidade deve ser inferior a 15% para

aplicação, pois além de otimizar a resistência mecânica também reduz a probabilidade de ataques biológicos (fungos) e conseqüentemente a degradação do material. O valor de 12,30% encontrado encontra-se dentro do parâmetro.

6.2 Bioconcreto de bambu

6.2.1 Caracterização dos bioagregados

Foram calculadas a massa específica aparente (γ_a) e o teor de umidade (T_u) com os procedimentos descritos na NBR 52 (2009) e NBR 9939 (2011), respectivamente, e a absorção (A_a) a partir da demanda de água em condição de mistura, conforme procedimentos de Pinto (2019). Os resultados podem ser observados na Tabela 6.2. Este estudo obteve valores próximos aos de Da Silva (2019). Em relação a Andreola (2017) obtém-se valores de γ_a e T_u próximos, mas distintos quanto a γ_g e A_a . Essa variação de valores se deve ao uso de espécies, idades dos colmos e locais de cultivo distintos. Portanto, a caracterização física deve ser realizada para que ocorra a dosagem apropriada as características da biomassa a ser empregada.

Tabela 6.2: Valores de massa específica, absorção e teor de umidade obtidos para o agregado de bambu.

γ_a (g/cm ³)	A_a (%)	T_u (%)
0,58	80	12,28

6.2.2 Caracterização dos materiais cimentícios e pozolânicos

A Tabela 6.3 mostra os resultados obtidos nos ensaios de composição química e densidade dos materiais cimentícios e pozolânicos. Nesta pesquisa foi utilizada metacaulinita na cor cinza. Da Glória (2015) utiliza o material na cor cinza e Andreola (2017) usa tanto a laranja quanto a cinza Além da tonalidade final, há diferenças nas concentrações dos elementos químicos, o que se reflete nas densidades. No entanto, essas distinções não interferem nas propriedades mecânicas dos bioconcretos, apenas na aparência estética do material final. Portanto, antes de realizada a concretagem, deve ser definida a cor final desejada em projeto de arquitetura a fim de evitar maiores desperdícios de material e redução das etapas de acabamento.

Tabela 6.3: Composição química e densidade dos materiais.

ELEMENTOS QUÍMICOS	CP V – ARI (%)	CINZA VOLANTE (%)	METACAULINITA (%)
CaO	67,679	2,290	-
SiO ₂	17,307	50,963	45,973
Al ₂ O ₃	5,693	34,194	47,745
SO ₂	4,421	-	-
Fe ₂ O ₃	3,748	5,333	2,005
K ₂ O	0,471	3,521	1,288
SrO	0,280	0,024	0,017
TiO ₂	0,260	1,240	1,286
MnO	0,121	0,046	-
CuO	0,019	-	-
SO ₃	-	1,593	1,136
BaO	-	0,594	0,436
ZrO ₂	-	0,111	0,069
Rb ₂ O	-	0,028	0,011
NbO	-	0,006	0,010
Y ₂ O ₃	-	0,012	0,009
ZnO	-	0,045	0,009
Ga ₂ O ₃	-	-	0,007
DENSIDADE	3,0526 (g/cm ³)	1,885 (g/cm ³)	2,6505 (g/cm ³)

6.2.3 Propriedades do bioconcreto

6.2.3.1 Espalhamento

Foi adotado o espalhamento como propriedade de controle do estado fresco do bioconcreto de bambu dessa pesquisa.

O espalhamento do bioconcreto deste estudo correspondeu a 200 mm, com boa trabalhabilidade sem presença de exsudação, o que pode ser observado na Figura 6.1. Andreola *et al.* (2019) obteve 215 mm de espalhamento para bioconcreto com partículas de bambu em volume próximo a deste estudo, assim como Da Silva (2019) obteve 200 mm. É possível afirmar que é exequível a produção de bioconcretos com resíduos de

bambu de diferentes espécies e distintas idades utilizando a água compensadora e o bioagregado seco, desde que seja adaptada também a relação água/materiais cimentícios.



Figura 6.1: Espalhamento do Bioconcreto deste estudo.

6.2.3.2 Densidade

As densidades deste estudo foram analisadas na condição do bioconcreto retirado da cura seca ($UR = 55 \pm 2\%$ e $T = 21 \pm 2^\circ C$), e resultaram no valor médio de $1081,76 \text{ kg/m}^3$. Andreola *et al.* (2018) para seus bioconcretos de bambu com 45% e 50% de biomassa e relação água/materiais cimentícios de 0,4 e 0,50 obteve densidades entre $1058,5 \text{ kg/m}^3$ e $1081,94 \text{ kg/m}^3$, porém sem utilizar pozolanas em sua dosagem. Da Silva (2019) obteve 1130 kg/m^3 de densidade para seu bioconcreto de bambu com 45% de bioagregado. Andreola (2019) para bioconcretos com 40% de biomassa e relação água/materiais cimentícios de 0,32 obtém como resultado $1255,65 \text{ kg/m}^3$ para as mesmas condições de cura. Com o resultado de $1081,76 \text{ kg/m}^3$ é possível classifica-lo como leve, pois segundo a recomendação da Rilem (1978) concretos leves têm densidades menores que 1800 kg/m^3 .

6.2.4 Propriedades mecânicas

6.2.4.1 Resistência à Compressão

Os corpos de prova cilíndricos de bioconcreto tiveram sua resistência à compressão uniaxial avaliadas após 7 e 28 dias de cura. A Tabela 6.4 apresenta os valores de resistência à compressão (f_c) e módulo de elasticidade (E) da mistura estudada.

Tabela 6.4: Valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade com coeficiente de variação em % entre parênteses para diferentes idades.

Idade (dias)	f_c (MPa)	E (GPa)
7	7,28 (0,89)	2,02 (8,09)
28	8,11 (3,31)	2,30 (5,76)

De acordo com a Figura 6.2, que apresenta o gráfico tensão *versus* deformação em 7 dias o bioconcreto estudado apresentou 89,8% da resistência obtida aos 28 dias, o que é resultado da combinação de cimento de alta resistência inicial e acelerador de pega. Nota-se um trecho linear seguido por outro não linear até a tensão máxima e então ocorre uma redução da tensão e aumento da deformação (região pós-pico). Esse comportamento, segundo Da Silva (2019), é mais acentuado quanto maior for o volume de biomassa, o que pode ser observado neste trabalho, devido ao uso de 45% de biomassa, afetando diretamente o comportamento mecânico do bioconcreto.

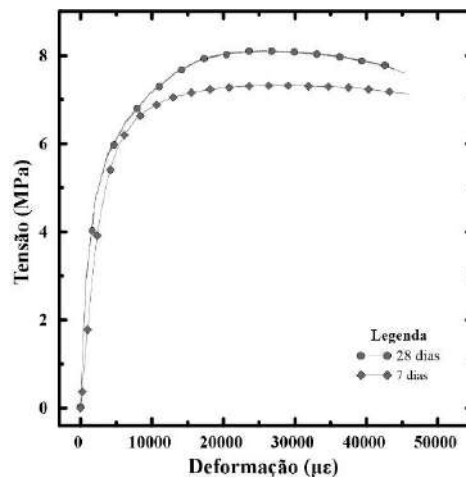


Figura 6.2: Curvas de tensão *versus* deformação aos 7 e 28 dias de idade.

Os valores de f_c e E obtidos foram próximos aos de Da Silva (2019) para sua mistura com 45% de biomassa, a qual obteve 9,73 Mpa e 2,53 GPa de resistência à compressão e módulo de elasticidade respectivamente em 7 dias. Aos 28 dias, a autora observou 12,3 Mpa e 3,03 GPa, o que confirmou a aceleração da pega e o aumento da resistência à compressão pelo uso de cloreto de cálcio e pozolanas.

6.2.4.2 Resistência à Flexão em 3 pontos

Os valores médios do módulo de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) do bioconcreto obtidos após 28 dias de cura seca podem ser observados na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Valores do módulo de ruptura e módulo de elasticidade com coeficiente de variação em % entre parênteses.

MOR (MPa)	MOE (GPa)
2,69 (10,54)	2,11 (9,42)

O gráfico da Figura 6.3, com a curva de carga *versus* deflexão central do bioconcreto mostra que as partículas de bambu atuaram como reforço, controlando a abertura de fissuras, pois após o pico não houve ruptura brusca, mas um comportamento pós-fissuração com gradual redução de carga e aumento da capacidade de deformação. Andreola *et al.* (2018) obtém valores de MOR e MOE para misturas com 45% de biomassa e relação água/cimento 0,40 e 0,50, respectivamente, entre as faixas de 1,26 MPa – 1,78 GPa e 1,42 MPa – 2,41 MPa.

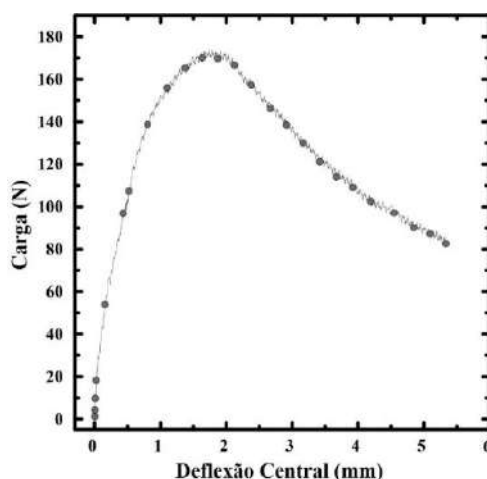


Figura 6.3: Curva típica carga *versus* deflexão central da mistura após 28 dias de cura.

6.3 Painel Pré-fabricado

6.3.1 Chapa de bioconcreto

As condições de acabamento do painel foram verificadas após a desmoldagem. Observou-se que o elemento apresentou aspecto uniforme em todas as superfícies em

contato direto com a madeira da forma, o que prova a utilização de madeira com fórmica uma alternativa a formas metálicas para acabamentos lisos. Este trabalho apresenta resultados visualmente próximos ao de Grabois (2012) em seu painel de concreto autoadensável com geometria semelhante, porém com forma metálica.

A Figura 6.4 exemplifica que não foram encontrados sinais de segregação dos bioagregados em relação à matriz, bolhas, vazios e tampouco variação da homogeneidade e coloração das superfícies. Não houve danos, fissuras visíveis nas bordas e extremidades do elemento durante a desmoldagem, transporte manual e armazenamento na cura seca, mesmo após 48 horas de moldagem.



Figura 6.4: Acabamento liso e sem falhas nas bordas e quinas.

A face externa à forma apresentou acabamento áspero conforme o esperado, podendo ser aplicada em vedações desta maneira se o intuito for um acabamento rústico. Porém também foi lixada a fim de estudar um acabamento mais fino. O resultado mostra a versatilidade que a peça pode ter, conforme a necessidade de cada projeto, o que favorece sua industrialização.

O uso de bioconcreto levou a obtenção de uma chapa com 31,41 kg. A massa total da peça finalizada é em torno de 72 kg, sendo 1,16 kg relativos à massa das quatro ripas de madeira da espécie *Eucalyptus grandis* do contraventamento, cujos dados foram

obtidos no trabalho do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP (2006). Os valores geométricos e físicos de cada elemento que compõe a peça pré-fabricada são descritos na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Valores geométricos e físicos de cada elemento que compõe a peça pré-fabricada.

Material	Área da seção (m ²)	Comprimento (m)	Densidade (kg/m ³)	Massa total (kg)
Colmo de Bambu	0,0019	2,35	860,00	3,84
Chapa de Bioconcreto	0,0129	2,30	1081,76	31,41
Ripa de madeira	0,0005	1,17	500,00	0,29

6.3.1.1 Acabamento com lixadeira

O lixamento fino foi realizado pelo resultado da lixadeira de concreto não ser o esperado. Ela retirou a camada que ultrapassa o molde, mas deixou leves irregularidades na superfície e rebarbas nas partículas de bambu, pois estas sofrem arrancamento pelo tipo de equipamento, que possui cerdas metálicas. A Figura 6.5.a mostra a diferença de acabamento antes e após realizar o lixamento fino. O acabamento após o lixamento fino em toda a peça pode ser visto na Figura 6.5.b. Algumas empresas já realizam industrialmente o lixamento fino como acabamento em painéis de bioconcreto com partículas de madeira e por isso. Este trabalho mostra que o mesmo resultado pode ser alcançado na produção em larga escala de painéis de bioconcreto com bioagregado de bambu.

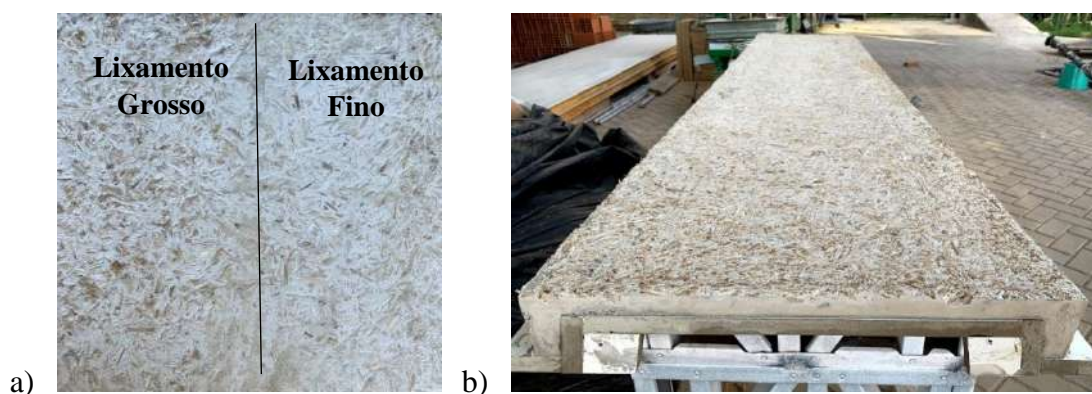


Figura 6.5: a) Diferença de textura entre acabamento grosso e fino. b) Acabamento final com lixamento fino.

6.3.2 Propriedades mecânicas da estrutura em bambu

6.3.2.1 Ensaio de resistência à compressão do colmo

A Figura 6.6 mostra o gráfico tensão *versus* deformação vertical apresentado pelas amostras ensaiadas no presente estudo. Nota-se um comportamento linear no estágio inicial e, em seguida, ocorre um desvio, em função da abertura da primeira fissura na parede interna dos colmos. Isso ocorre já que na região mais externa dos mesmos há uma maior concentração de fibras que funcionam cintando a região interna da parede do colmo que possui menor fração volumétrica de fibras, conforme Gomes (2019) observou ao comparar seus ensaios de resistência à compressão com dois tipos de corpos de prova sem nó. O trecho linear ocorre até uma carga correspondente a 50% da carga máxima ($P_{máx}$). A partir deste ponto, gradualmente surgem novas fissuras devido ao aumento da carga aplicada. Ao se atingir a carga máxima, observa-se um platô, ocorrendo apenas a abertura das fissuras sob cargas aproximadamente constantes, até deformações verticais de 10.000-12.000 $\mu\epsilon$, quando os ensaios foram encerrados. A deformação vertical foi calculada a partir da média dos dois LVDTs verticais a fim de representar o comportamento médio do colmo no ensaio.

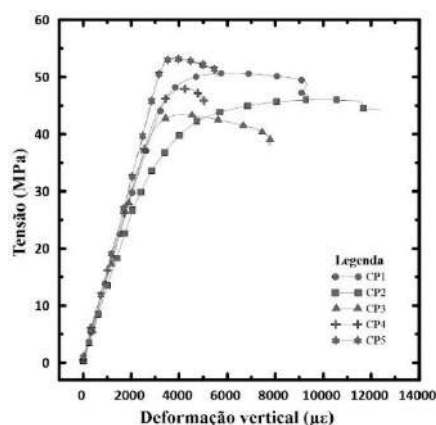


Figura 6.6: Gráfico tensão *versus* deformação vertical de cada corpo de prova.

A Figura 6.7 apresenta o gráfico tensão *versus* deformação lateral dos ensaios de resistência à compressão do colmo. Observando as curvas, nota-se que a deformação lateral medida no centro da região do internó central foi, em todos os ensaios, praticamente nula até a proximidade da carga de ruptura (em torno de 95% da carga máxima), mostrando o efeito de restrição promovido pelos diafragmas centrais dos colmos de bambu.

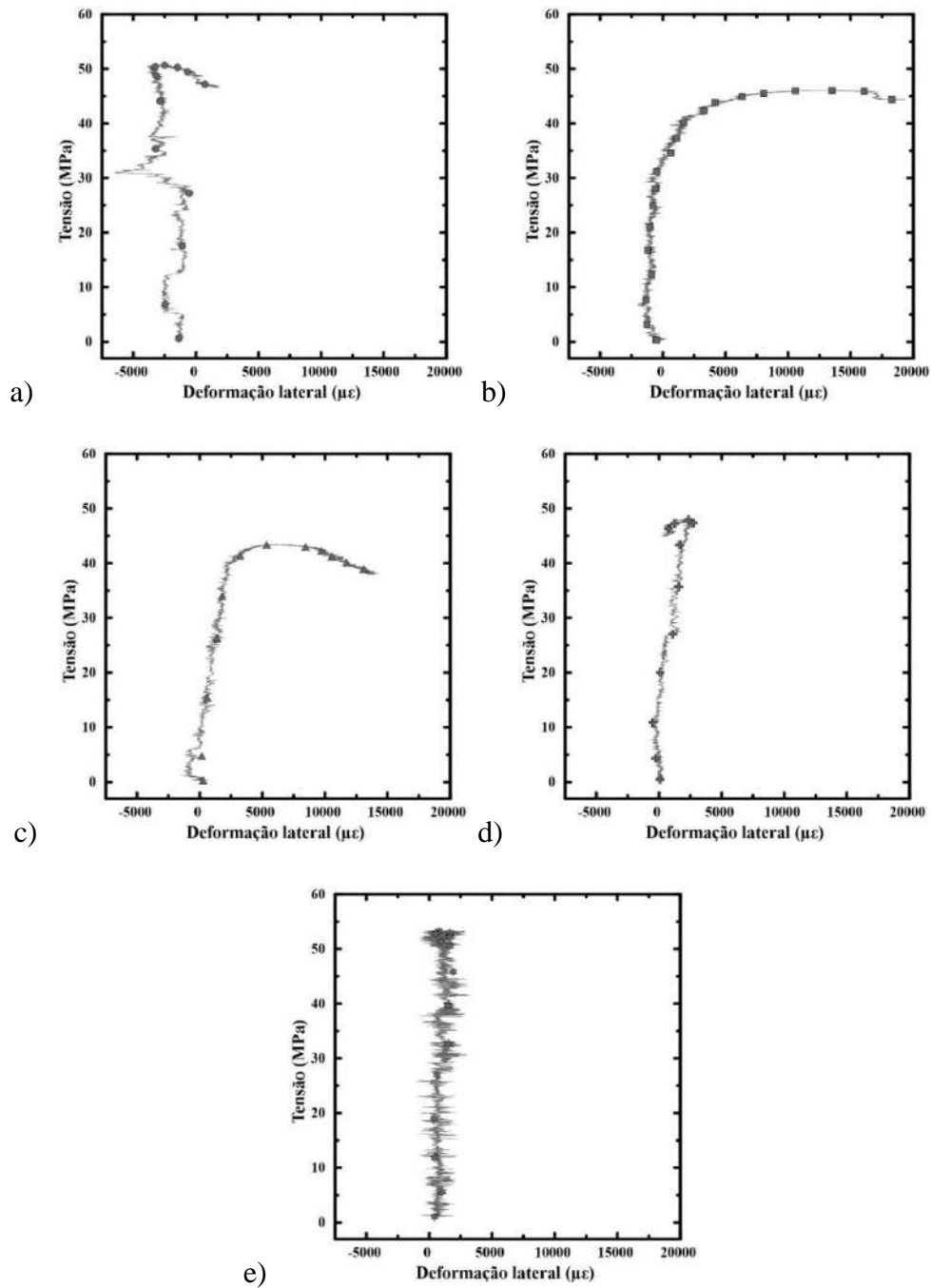


Figura 6.7: Resultados do ensaio de resistência à compressão do colmo: a) Gráfico tensão *versus* deformação lateral do CP1. b) Gráfico tensão *versus* deformação lateral do CP2. c) Gráfico tensão *versus* deformação lateral do CP3. d) Gráfico tensão *versus* deformação lateral do CP4. e) Gráfico tensão *versus* deformação lateral do CP5.

As médias dos resultados de carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), resistência à compressão (F_{C0}) e módulo de elasticidades (E) obtidos através do ensaio de resistência à compressão uniaxial dos colmos de bambu são apresentados na Tabela 6.7. Esses dados serão utilizados posteriormente para avaliação da análise estrutural do abrigo. Comparando-se

o resultado da resistência à compressão do colmo com quatro diafragmas com os observados por Gomes (2019) para amostras da mesma espécie com dois nós, nota-se que o valor de carga máxima corresponde a 66% e o de resistência à compressão 71%. Em relação ao módulo de elasticidade, nota-se que os valores correspondem a 50% um do outro.

Tabela 6.7: Valores médios carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), resistência à compressão (F_{c0}) e módulo de elasticidades (E) dos resultados com coeficiente de variação em % entre parênteses.

$P_{m\acute{a}x}$ (kN)	F_{c0} (MPa)	E (GPa)
77,77 (8,86)	48,29 (8,03)	14,94 (3,42)

O modo de ruptura típico dos colmos ensaiados é apresentado na Figura 6.8. Na Figura 6.8.a nota-se a presença de várias fissuras próximas ao primeiro nó, e a ocorrência de uma flambagem local nessa região. A base de concreto sofreu diversas fissuras radiais (3 ou 4 no total), como mostra a Figura 6.8.b, devido a deformação circunferencial do colmo embebido na base do mesmo que gerou esforços de tração no concreto.

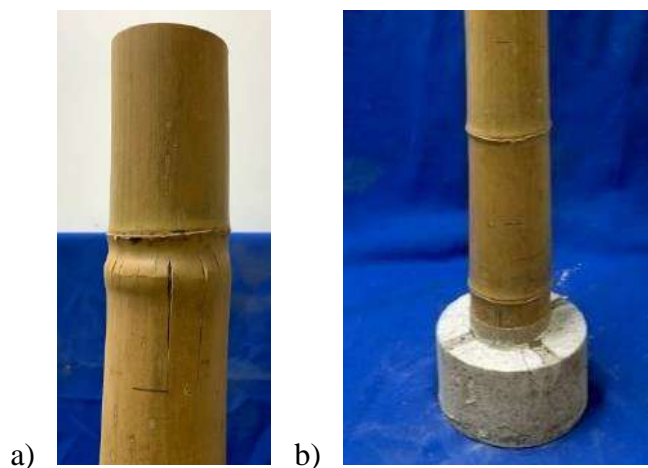


Figura 6.8: a) Fissuras visíveis no colmo pós ensaio de resistência à compressão . b) Fissuração do concreto da base.

6.3.2.2 Ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo por apoio semicircular

Corpo de prova com colmo horizontal com internó no centro da boca de peixe.

A Figura 6.9 apresenta as curvas de carga *versus* deformação vertical obtidas no ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo com a carga sendo aplicada no centro da região internodal do colmo representativo da viga de bambu. Os valores das deformações foram obtidos através da média dos LVDTs verticais.

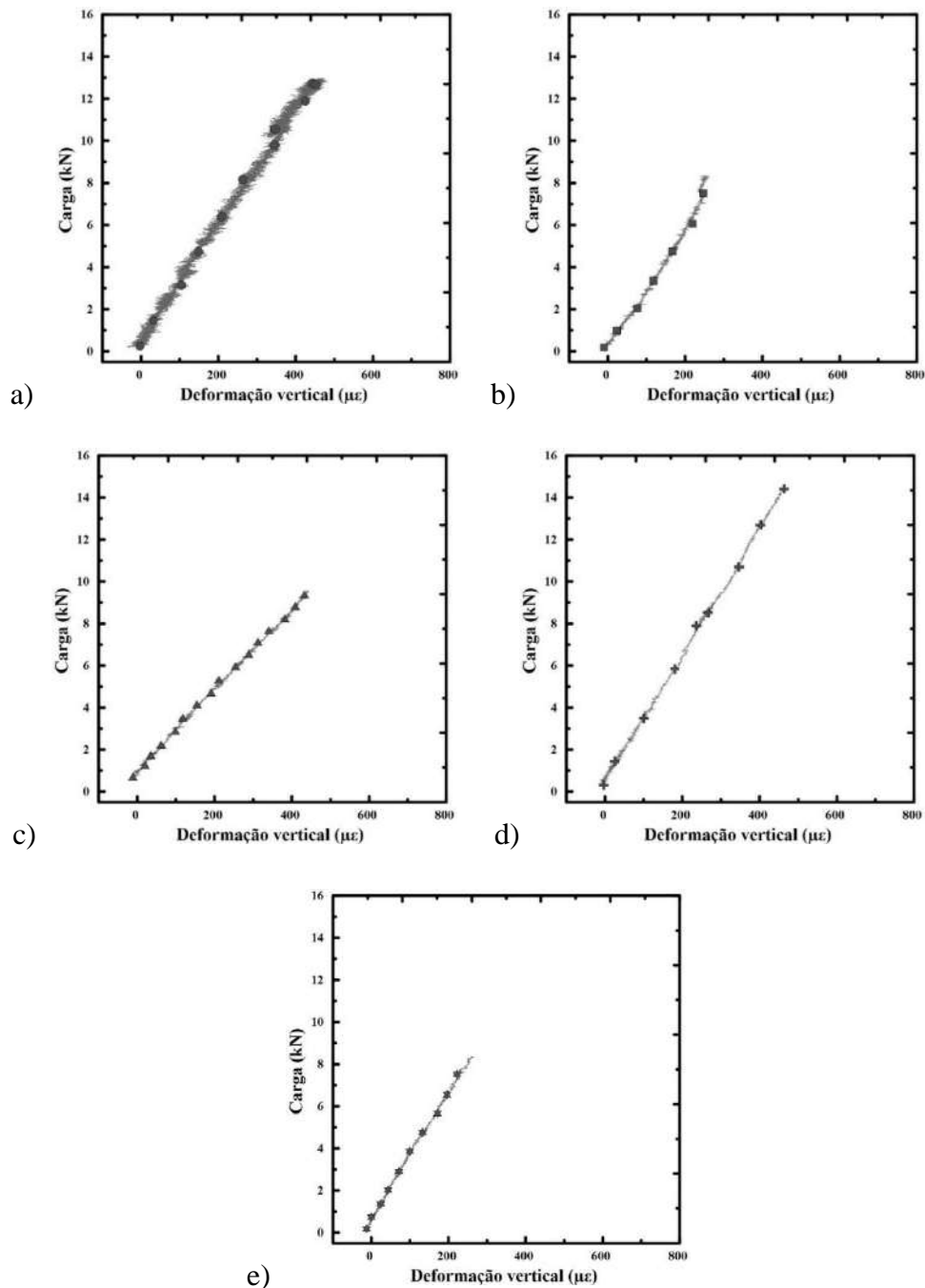


Figura 6.9: a) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP1. b) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP2. c) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP3. d) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP4. e) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP5.

A Figura 6.10 mostra as curvas carga x deslocamento do travessão da máquina de ensaio.

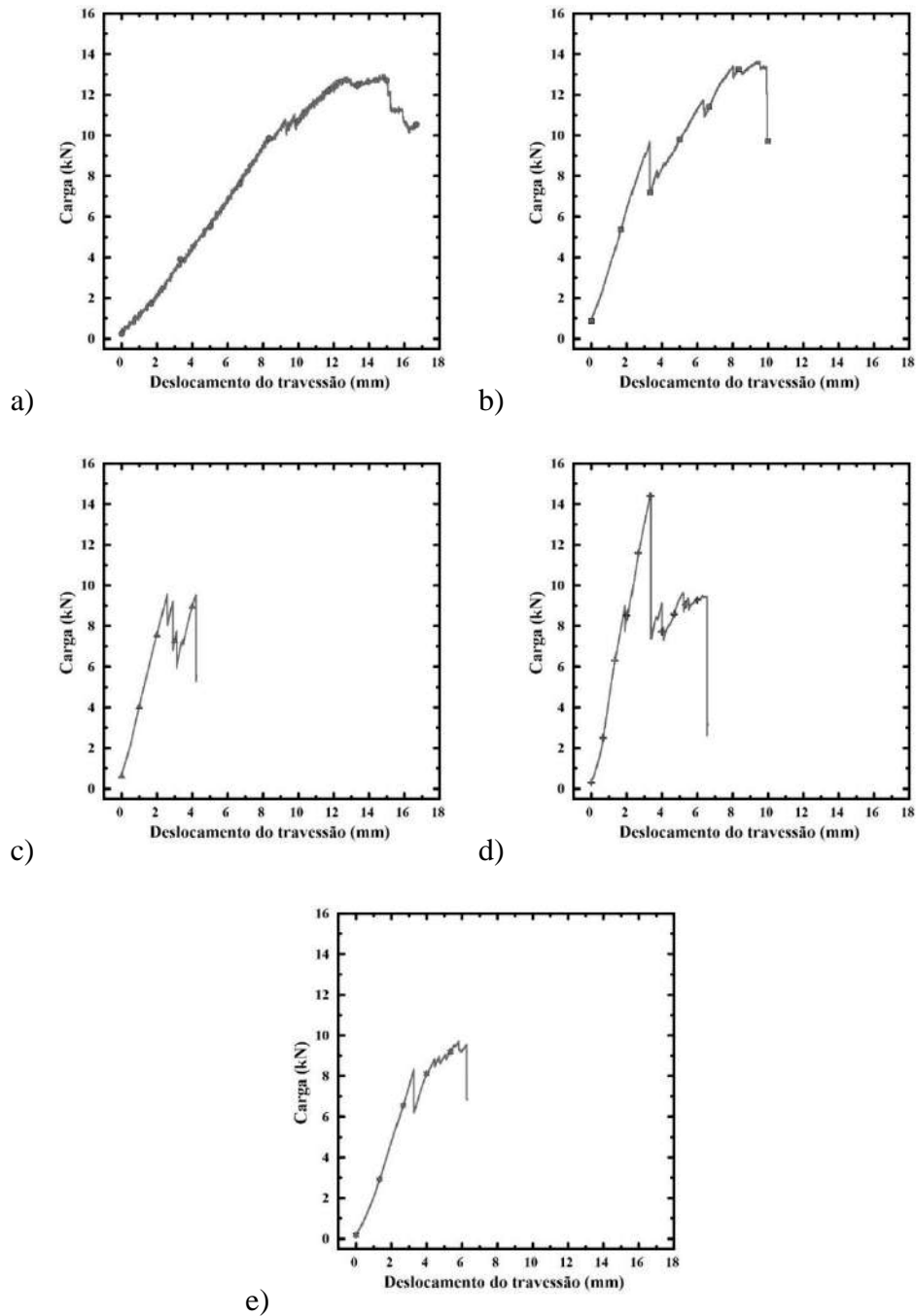


Figura 6.10: Curvas carga *versus* deslocamento do travessão (inclui a deformação da viga de bambu).

A Figura 6.11 apresenta o gráfico carga *versus* deformação lateral das amostras ensaiadas neste estudo. Em geral, a deformação lateral medida no centro do internó central manteve-se constante e praticamente nula com o acréscimo de carga.

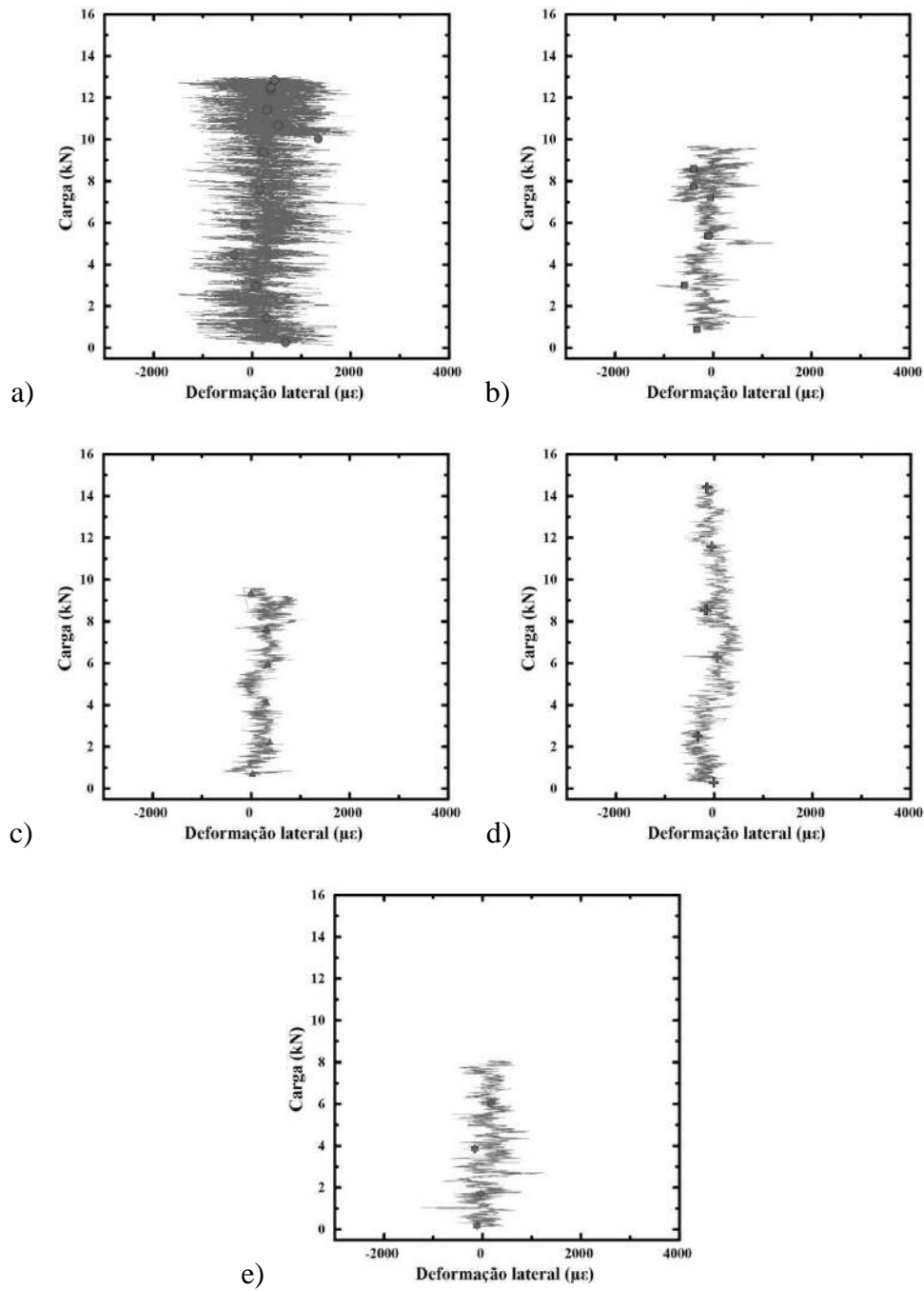


Figura 6.11: Resultados do ensaio com internó no centro da boca de peixe: a) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP1. b) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP2. c) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP3. d) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP4. e) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP5.

A Tabela 6.8 apresenta as médias dos resultados de carga da primeira fissura (P), da carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da tensão de primeira fissura (σ), da tensão máxima no colmo vertical observada durante o ensaio ($\sigma_{m\acute{a}x}$) e do módulo de elasticidade (E) dos corpos de

prova ensaiados com o centro do internó do colmo horizontal (viga) no eixo da boca de peixe do colmo vertical (coluna).

Tabela 6.8: Valores médios de carga da primeira fissura (P), da carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da tensão de primeira fissura (σ), da tensão máxima no colmo vertical observada durante o ensaio ($\sigma_{m\acute{a}x}$) e do módulo de elasticidade (E) com carga concentrada nos corpos de prova viga-colmo com internó no centro da boca de peixe, sendo o coeficiente de variação em % entre parênteses.

P (kN)	$P_{m\acute{a}x}$ (kN)	σ (MPa)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	E (GPa)
9,25	12,95 (12,69)	5,08	6,84 (11,57)	15,59 (4,89)

Os resultados de módulo de elasticidade são similares (diferença inferior a 5%) aos valores obtidos quando se testou apenas o colmo (ver resultados da Tabela 6.7). A carga máxima, no entanto, é de apenas 16% da carga de ruptura do colmo vertical e a carga de primeira fissura é de 12% da carga de ruptura do colmo.

O surgimento da primeira fissura ocorre por cisalhamento paralelo as fibras do colmo vertical, na parte lateral da amostra, no eixo do pino, para uma carga média de 9,25 kN. A partir deste ponto a fissura cresce, ocorrendo a tendência de abertura da boca de peixe em duas metades, que são contidas pela ligação flexível do colmo. No caso do CP2, a primeira fissura ocorreu para um deslocamento de cerca de 3,31 mm (ver Figura 6.10.b), mas a Figura 6.12.b não foi capaz de mostra-la já que ela ocorre próximo ao pino que fica na vista lateral do corpo de prova. A contenção da abertura da fissura pela ligação flexível permitiu um aumento da carga e surgiu a primeira fissura de cisalhamento no colmo horizontal, como mostra a Figura 6.12.c, para um deslocamento vertical de cerca de 6,3mm (ver perda de carga na Figura 6.10). A segunda fissura paralela às fibras do colmo horizontal, embora a Figura 6.12.d não seja capaz de mostrar por estar na vista posterior do corpo de prova, ocorreu para um deslocamento de aproximadamente 8 mm (ver nova perda de carga na Figura 6.10). A terceira fissura ocorreu na região inferior do colmo horizontal, simultaneamente com a ruptura dos diafragmas, para um deslocamento de cerca de 9,9 mm (ver carga de pico na Figura 6.10), A Figura 6.12.e não é capaz de mostrar essas fissuras por se tratar da vista lateral do corpo de prova. Esse modo de ruptura pode, no entanto, ser observado na Figura 6.13. Nessa figura observa-se tanto as múltiplas fissuras da viga de bambu quanto a ruptura de um dos seus diafragmas. O

concreto convencional não sofreu danos visíveis para o nível de carga atingido durante o ensaio (tensões de tração menores que a resistência à tração do material).

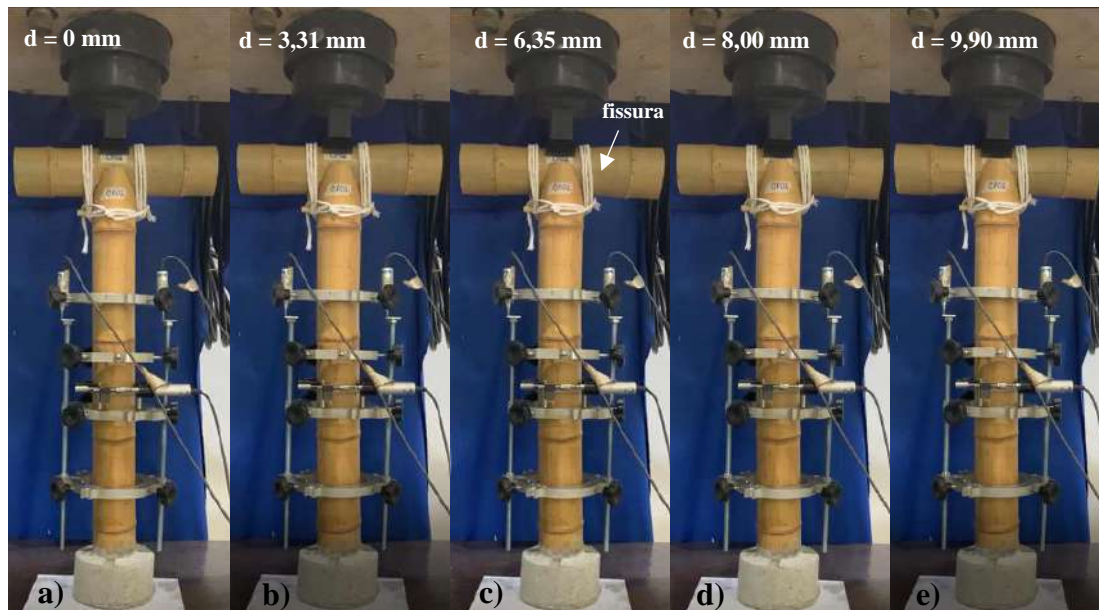


Figura 6.12: Sequência de abertura típica de fissuras da amostra com internó central.



Figura 6.13: Modo de ruptura da viga de bambu e fissura vertical da coluna de bambu mostrando a abertura da boca de peixe.

Corpo de prova com colmo horizontal com diafragma no centro da boca de peixe.

A Figura 6.14 apresenta a curva carga *versus* deformação vertical de cada corpo de prova obtidas no ensaio de resistência à compressão do sistema viga-colmo com a carga sendo aplicada no centro do diafragma do colmo que representa a viga de bambu. Os valores das deformações foram obtidos conforme metodologia do ensaio do item anterior, porém com a carga sendo aplicada no centro da região internodal do colmo.

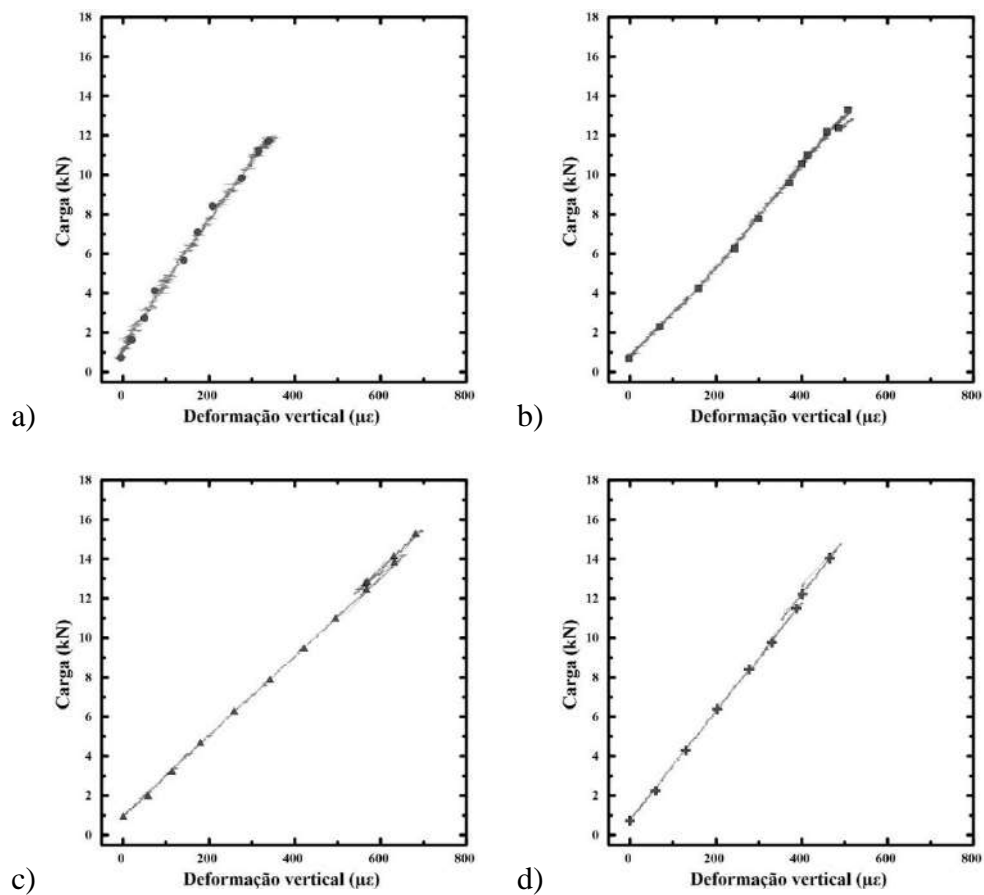


Figura 6.14: Resultados do ensaio com corpos de prova (CP) com diafragma no centro da boca de peixe: a) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP1. b) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP2. c) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP3. d) Gráfico carga *versus* deformação vertical do CP4.

A Figura 6.16 mostra as curvas carga *versus* deslocamento do travessão da máquina de ensaio.

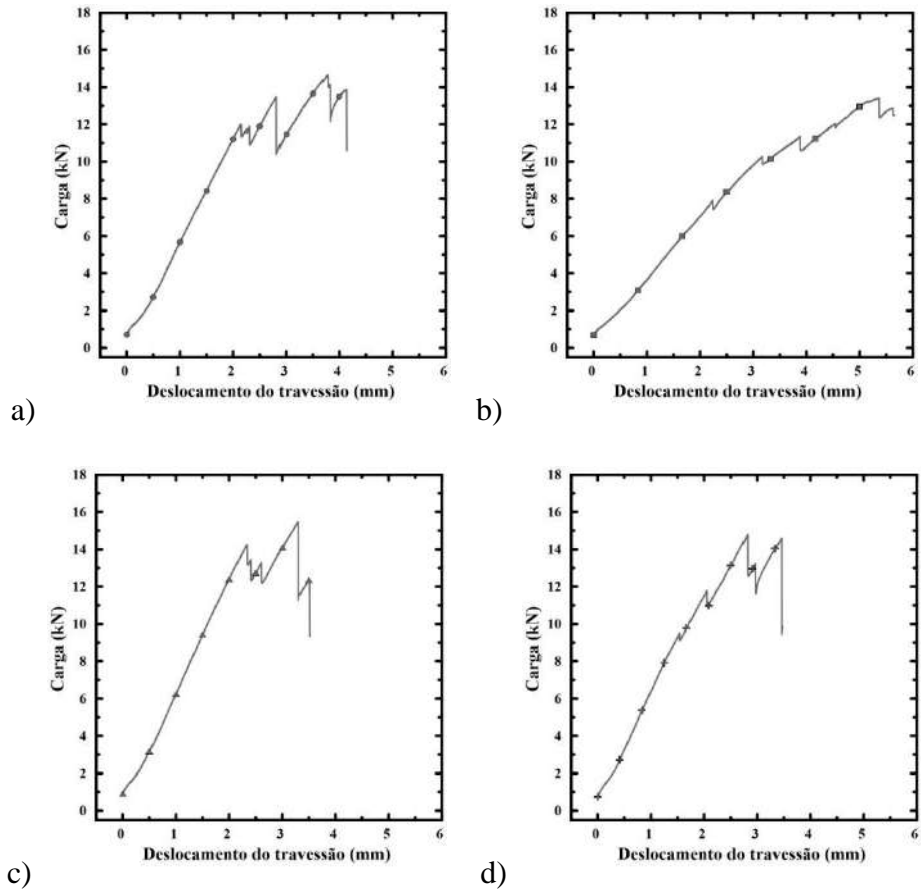
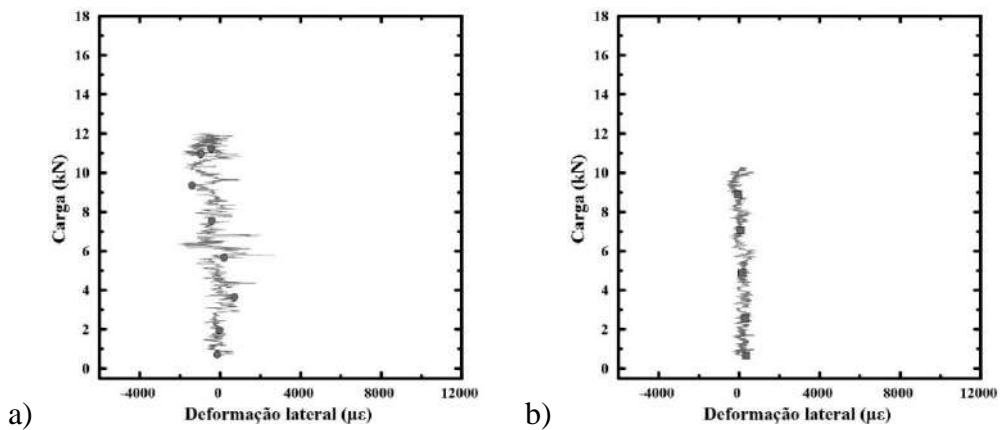


Figura 6.15: Curvas carga *versus* deslocamento do travessão (inclui a deformação da viga de bambu) do ensaio com corpos de prova (CP) com diafragma no centro da boca de peixe: a) Correspondente ao CP1. b) Correspondente ao CP2. c) Correspondente ao CP3. d) Correspondente ao CP4.

A Figura 6.16 apresenta o gráfico carga *versus* deformação lateral dos corpos de prova com diafragma no centro da boca de peixe ensaiadas neste estudo.



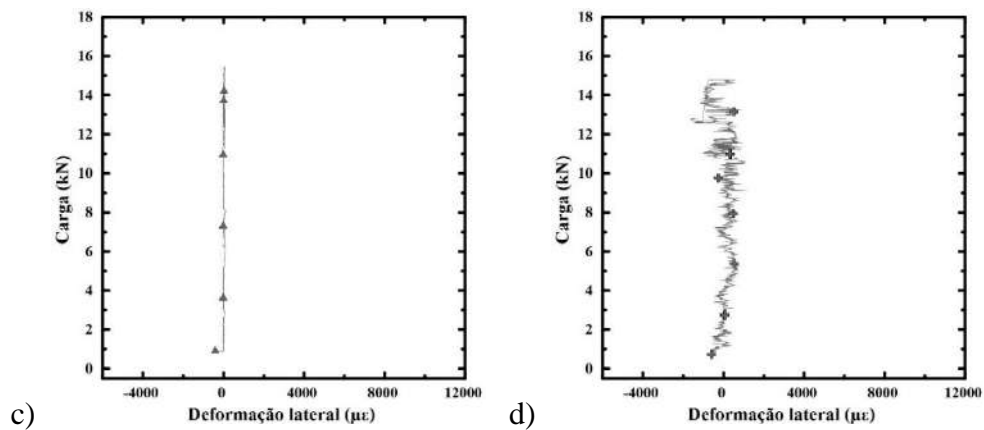


Figura 6.16: Resultados do ensaio com corpos de prova (CP) com diafragma no centro da boca de peixe: a) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP1. b) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP2. c) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP3. d) Gráfico carga *versus* deformação lateral do CP4.

A Tabela 6.9 mostra as médias dos resultados de carga da primeira fissura (P), da carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da tensão de primeira fissura (σ), da tensão máxima no colmo vertical observada durante o ensaio ($\sigma_{m\acute{a}x}$) e do módulo de elasticidade (E) dos corpos de prova ensaiados com o diafragma no centro do colmo horizontal (viga) no eixo da boca de peixe do colmo vertical (coluna).

Tabela 6.9: Valores médios de carga da primeira fissura (P), da carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), da tensão de primeira fissura (σ), da tensão máxima no colmo vertical observada durante o ensaio ($\sigma_{m\acute{a}x}$) e do módulo de elasticidade (E) com carga concentrada nos corpos de prova viga-colmo com diafragma no centro da boca de peixe, sendo o coeficiente de variação em % entre parênteses.

P (kN)	$P_{m\acute{a}x}$ (kN)	σ (MPa)	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (MPa)	E (GPa)
10,92	14,59 (5,88)	6,33	9,12 (13,39)	14,81 (5,30)

Os resultados de módulo de elasticidade são similares aos obtidos quando se testou apenas o colmo, com uma diferença de apenas 1% nos valores obtidos (ver resultados da Tabela 6.9). Quanto à carga máxima atingida no ensaio, esta é de cerca de 19% da carga de ruptura do colmo vertical. Já a carga de primeira fissura corresponde a 14% da carga de ruptura do colmo.

O valor médio da tensão máxima no colmo vertical observada durante o ensaio é cerca de 25% superior ao observado para a aplicação da carga com o internó no centro da

boca de peixe. Já média da carga máxima é 11% superior a observada no ensaio do colmo horizontal com internó no eixo da boca de peixe. O módulo de elasticidade, ao se comparar os ensaios com duas distintas posições dos diafragmas do colmo horizontal (viga), tem uma diferença de 5% nos valores obtidos (ver resultados da Tabela 6.8).

Nesse caso, a primeira fissura surge no diafragma, na região interna do colmo horizontal, para uma carga média de 10,92 kN (ver Figura 6.15.c). A partir deste ponto formam-se fissuras paralelas às fibras do colmo horizontal. Esse processo ocorre com um aumento da carga que, ao atingir seu valor máximo, fissura verticalmente a coluna de bambu e provoca a abertura da boca de peixe. Com a continuidade do ensaio surgem novas fissuras na viga horizontal e a completa ruptura do colmo vertical.

Com o auxílio das imagens obtidas pelas câmeras identificou-se o surgimento das fissuras no colmo vertical e horizontal. A primeira fissura ocorreu no diafragma para um deslocamento de aproximadamente 2,33 mm, mas a Figura 6.17.b não pode registrá-la pois ela ocorre no interior do colmo horizontal embora a curva carga versus deslocamento do travessão indique uma primeira queda na carga nesse ponto (ver Figura 6.15.c). Quase que simultaneamente surge a primeira fissura na viga de bambu (ver pequena descontinuidade da carga na Figura 6.15.c e uma fissura muito fina na Figura 6.17.b). Para um descolamento vertical de cerca de 2,59 mm ocorre o surgimento da segunda fissura paralela as fibras do colmo horizontal (ver Figura 6.17.c).

Embora haja uma redução de carga, esta tem uma rápida recuperação, como observado na curva carga versus deslocamento. Para um deslocamento de 3,29 mm ocorre a carga máxima e a primeira fissura paralela as fibras da coluna do corpo de prova. A partir desse momento, a região inferior da viga tenta separar a boca de peixe em duas metades, ocorrendo assim uma recuperação na carga (ver Figura 6.15.c) até que para um deslocamento de 3,50mm ocorre mais uma fissura horizontal e uma queda brusca da carga em razão do puncionamento da viga pelo colmo vertical, na região inferior da viga, finalizando o ensaio.

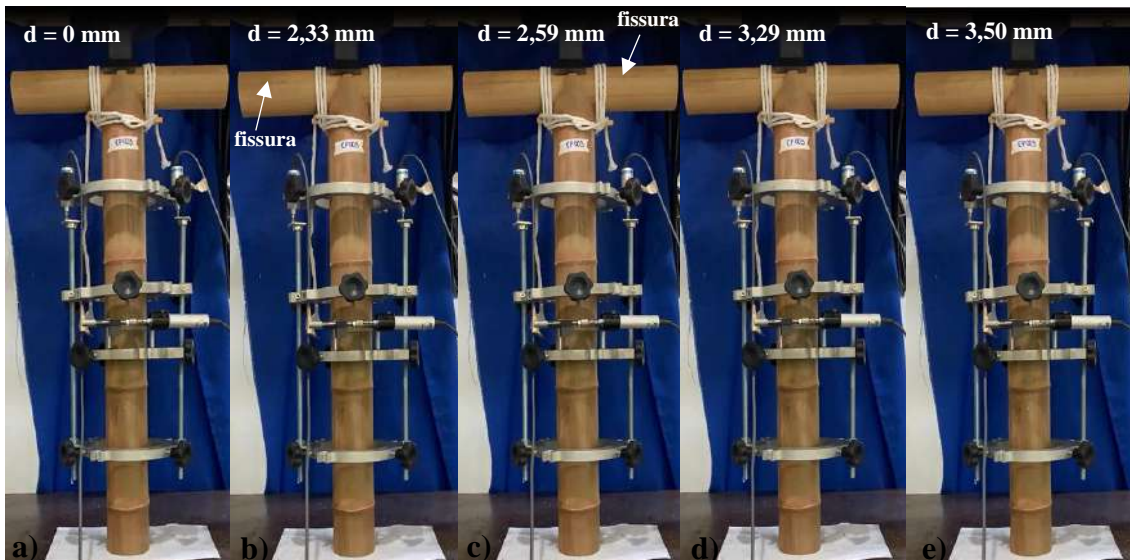


Figura 6.17: Sequência da abertura de fissuras da amostra com diafragma no centro.

A Figura 6.18 mostra o modo de ruptura da viga de bambu com a ruptura do diafragma e a formação de três fissuras horizontais na mesma. Também se observa a fissura vertical na coluna de bambu nas proximidades do pino.

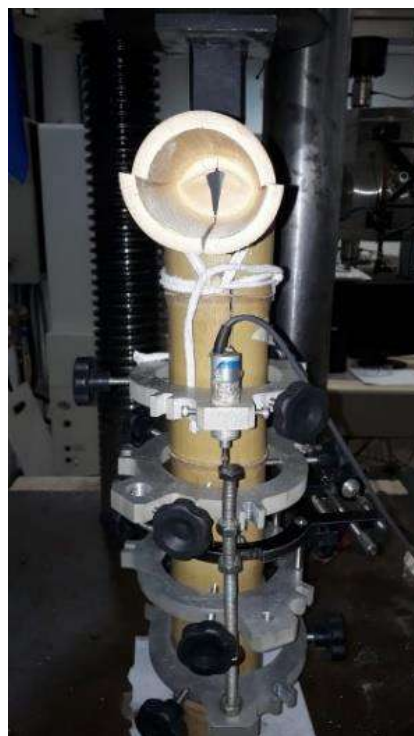


Figura 6.18: Modo de ruptura da viga de bambu e fissura vertical da coluna de bambu para o caso em que carga é aplicada com o diafragma no centro da boca de peixe.

6.3.3 Propriedades mecânicas das ligações

6.3.3.1 Ensaio de resistência à tração da ligação

Ligação Flexível

A Figura 6.19 apresenta a curva típica carga versus deslocamento do travessão do ensaio de tração da ligação viga-pilar flexível com três voltas de cordão encerado com cera de carnaúba. O valor médio da carga máxima foi de 2,77 com CV 4,41% para um deslocamento de 39,62 mm com CV de 8,1%.

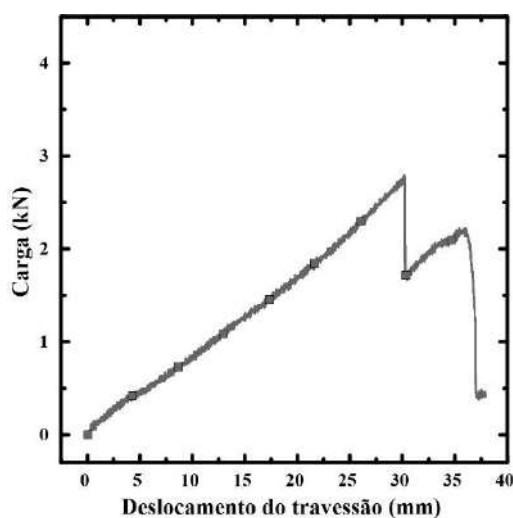


Figura 6.19: Curva típica carga *versus* deslocamento do travessão do ensaio de tração da ligação flexível

Com o auxílio das imagens obtidas pelas câmeras identificou-se o modo de ruptura da ligação. Observando a curva típica mostrada na Figura 6.19, nota-se que com aumento da carga ocorre uma deformação do cordão da ligação flexível e a ligação abre, isto é, o colmo horizontal se afasta do vertical como pode ser visto nas fotografias das partes a-f da Figura 6.20. O comportamento carga-deslocamento é praticamente linear até se atingir carga axial máxima de 2,8 kN, para um deslocamento de 30 mm, quando ocorre a ruptura de uma das voltas do cordão que constitui a ligação flexível (ver Figura 6.20.g). Logo após a ruptura do cordão ocorre uma redução de carga para cerca de 1,5 kN e ocorre uma redistribuição da carga atuante entre as duas voltas do cordão que não romperam. Uma recuperação da carga é observada na curva típica da Figura 6.19 e, quando se atinge uma

carga de cerca de 2,15 kN, ocorre a ruptura do pino para um deslocamento do travessão de cerca de 35 mm (ver Figura 6.20.h).

Em todos os cinco corpos de prova a ligação rompeu na parte inferior do corpo de prova e não se observou danos nos colmos de bambu.

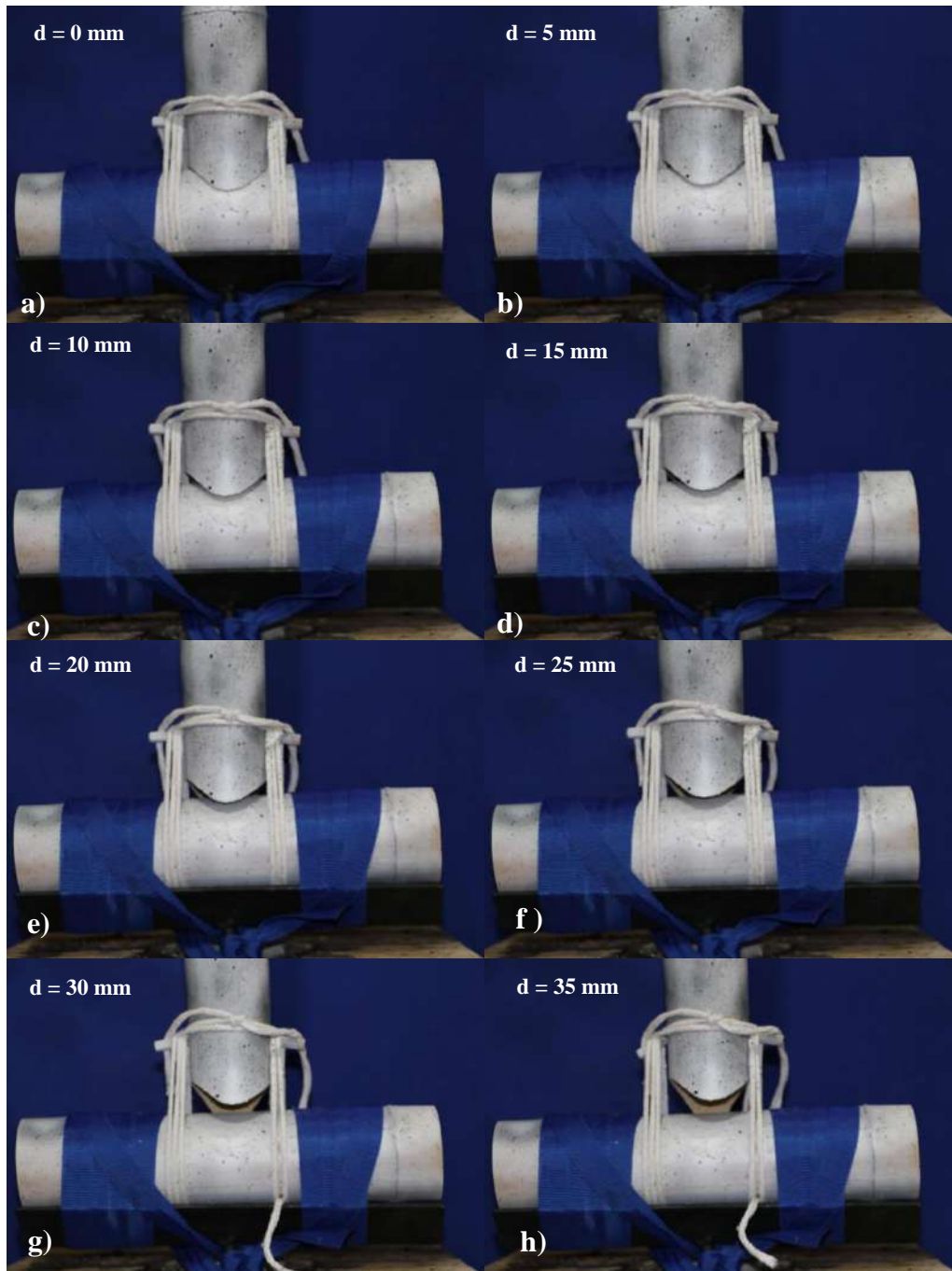


Figura 6.20: Modo de ruptura típico da ligação flexível estudada.

Ligação Rígida

A Figura 6.21 apresenta a curva típica carga versus deslocamento do travessão para o ensaio de tração da ligação rígida viga-pilar. O valor médio da carga máxima foi de 3,66 kN com um CV de 16,56% para um deslocamento médio de 16,64 mm com CV de 17,05%.

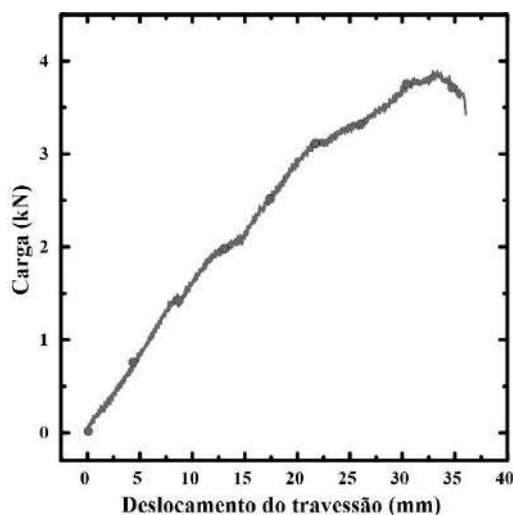


Figura 6.21: Curva típica carga *versus* deslocamento do travessão do ensaio de tração da ligação rígida.

Observando-se a curva típica mostrada na Figura 6.21, nota-se que para uma carga axial de 1,5 kN, e deslocamento de aproximadamente 10 mm, ocorre a perda da linearidade da curva carga-deslocamento devido a deformação da extremidade dobrada em “U” da barra rosqueada. Na verdade, observando-se o modo de ruptura típico da ligação rígida mostrado na Figura 6.22, nota-se que para um deslocamento de 5 mm já ocorre um certo movimento do colmo vertical (Figura 6.22.b) em relação a sua posição original (Figura 6.22.a). Para o deslocamento de 5 mm, a tendência de inclinação do colmo vertical já é bem mais acentuada (ver Figura 6.22.c) e isso ocorre, como dito anteriormente, pela abertura do “U” da extremidade da barra rosqueada. Esse processo de deformação continua com o aumento da carga e a curva se mostra cada vez mais não linear até se atingir a carga máxima de 3,89 kN, quando a extremidade da barra em “U” adquire um formato de “L” e ocorre a ruptura da ligação (ver Figura 6.22.g). A mudança de formato da extremidade em “U” da barra faz com que o colmo da vertical se desloque em diagonal, como mostra a sequência da Figura 6.22.

A dobra da barra rosqueada vertical mostrou-se o ponto mais vulnerável desse tipo de ligação que levou a estrutura à instabilidade, embora os colmos não se separem totalmente nem apresentem danos visíveis, como mostra a Figura 6.22. Em todos os ensaios a ruptura ocorreu na região superior do corpo de prova.

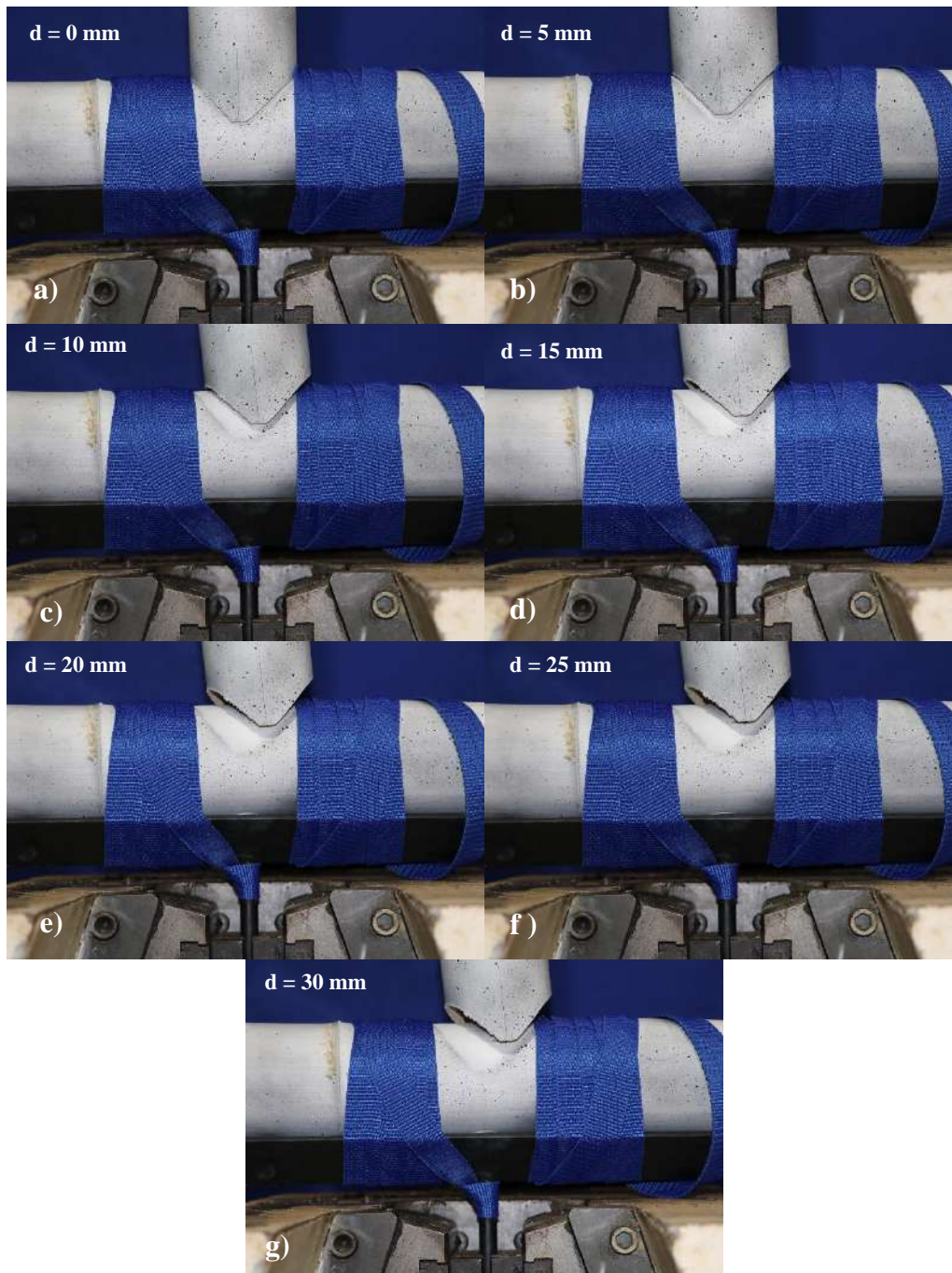


Figura 6.22: Modo de ruptura da ligação rígida estudada.

A Figura 6.23 mostra as curvas típicas carga *versus* deslocamento do travessão para as duas ligações estudadas. A ligação rígida apresenta uma carga máxima 24% superior

à da ligação flexível, mas também ganha carga mais rapidamente. Isso ocorre pela rigidez do cordão ser menor que a da barra de aço, permitindo que a ligação se desloque mais. Na próxima seção discute-se o comportamento estrutural normativo dos dois tipos de ligação.

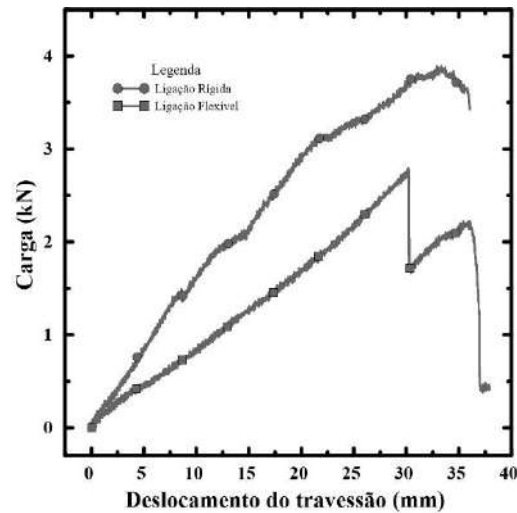


Figura 6.23: Curvas típicas carga *versus* deslocamento do travessão do ensaio de tração da ligação flexível e da rígida.

6.4 Análise estrutural

Para construção de modelo de análise no SAP2000 primeiro foram definidas as propriedades dos materiais empregados na estrutura, como módulo de elasticidade (obtido na análise experimental deste estudo) e peso próprio, por exemplo. Os dados de peso próprio e de carga distribuída considerados no projeto podem ser vistos, respectivamente, na Tabela 6.10 e Tabela 6.11. O carregamento da telha e do forro foram adotados conforme mostra a Tabela 6.11, segundo a NBR 6120 (2019).

Tabela 6.10: Dados para cálculo do peso próprio.

Material	Peso próprio (kN/m ³)
Bambu (<i>Phyllostachys pubescens</i>)	8,60

Tabela 6.11: Dados para cálculo da carga distribuída.

Material	Carregamento (kN/m ²)
Telha	0,10
Forro	0,10
Carga Acidental	2,00

Em seguida foram definidas as geometrias das seções dos colmos, compostas por anéis com diâmetro de 80 mm e 10 mm de espessura de parede. Após determinadas as combinações de ações, estas foram aplicadas ao modelo. A fim de gerar um sistema simplificado não foram modelados os contraventamentos em madeira da espécie *Eucalyptus grandis*.

Conforme recomendado pela NBR 16828-1 (2020) foram verificadas para análise estrutural a resistência à compressão e à tração do modelo, a flambagem do colmo, o esmagamento do colmo, o cisalhamento do pino de bambu (no caso de uso da ligação flexível), o cisalhamento do pino de aço (no caso de uso da ligação rígida) e a flexão do pino de aço (devido ao tipo de ligação rígida definida neste estudo).

6.4.1 Resistência à compressão e à tração

O procedimento utilizado para a determinação das forças estáticas devido ao vento é encontrado na NBR 6123 (2013). A Velocidade básica do vento (V_0 [m/s]) é obtida a partir da curva de isopletras dada na norma supracitada. Definiu-se a velocidade básica de 45 m/s na cidade de Guarulhos em São Paulo, onde localiza-se um possível local de implantação do abrigo, conforme definido no item 3.4 deste trabalho. Dentre todas as possibilidades, São Paulo foi escolhido por apresentar a velocidade mais crítica somada aos critérios com taxas mais elevadas mencionados também no item 3.4 deste trabalho.

O Fator Topográfico (S1) do terreno onde será implantado o abrigo emergencial pode ser considerado plano ou fracamente acidentado. A Rugosidade do Terreno (S2) está associado à permeabilidade do terreno e às dimensões da edificação. É obtido em função das classes e categorias. Este estudo utiliza a Categoria III classe A da norma. O Fator Estatístico (S3), o qual considera o grau de segurança e a vida útil da edificação se enquadra no Grupo 2. Os valores de V_0 , S1, S2, S3 e de Velocidade Característica do

Vento (V_k [m/s]) obtidas podem ser vistas na Tabela 6.12, assim como o valor de pressão dinâmica (q).

Tabela 6.12: Dados para cálculo da carga dinâmica do vento.

V_0 (m/s)	S1	S2	S3	V_k (m/s)	q (Pa)
45	1	0,83	1	37,40	850,21

A Pressão Efetiva (Δp [N/m²]) é a pressão atuando efetivamente sobre um ponto da superfície da edificação. O cálculo desta variável requer dois coeficientes: coeficiente de pressão externa (C_{pe}) e coeficiente de pressão interna (C_{pi}).

Para edificações de planta retangular, a tabela da norma de vento indica os coeficientes de pressão e de forma externos (C_{pe}) para dois ângulos de incidência do vento, 0° e 90°. Os dados necessários sobre a construção são o comprimento (a), a largura (b) e a altura (h), como mostra a Figura 6.24.

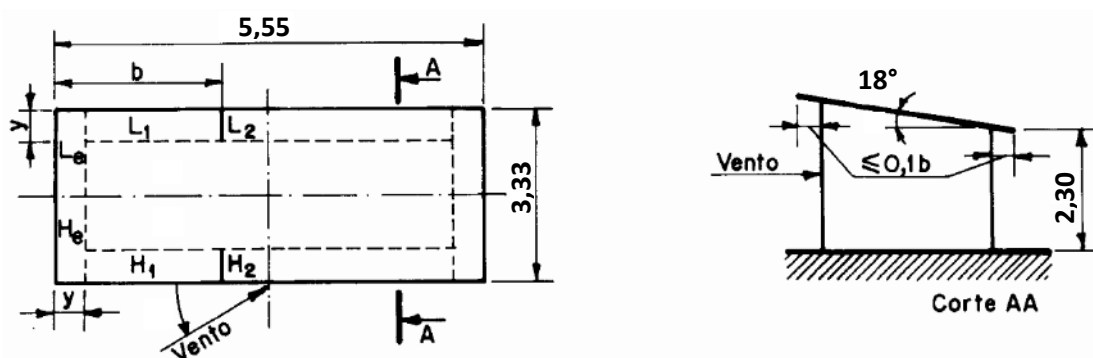


Figura 6.24: Dados do projeto do abrigo emergencial deste estudo. Adaptado de NBR 6123 (2013).

A razão entre altura e largura fica: $h/b = 2,30/3,33 = 0,69$, então $1/2 < h/b < 3/2$. A razão entre comprimento e largura fica: $a/b = 5,55/3,33 = 1,67$, que é mais próximo de $3/2$ do que de 2, justificando a escolha indicada na Tabela 6.13.

Tabela 6.13: Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular. Adaptado de NBR 6123/2013).

Altura Relativa	Valores de C_{pe} para								C_{pe} médio
	A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
$\frac{1}{2} < \frac{h}{b} < \frac{2}{3}$ $1 < \frac{a}{b} < \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1

A Figura 6.25.a mostra a maneira como os coeficientes de pressão externa para as paredes ficaram a um ângulo de 0° e a Figura 6.25.b a um ângulo de 90° .

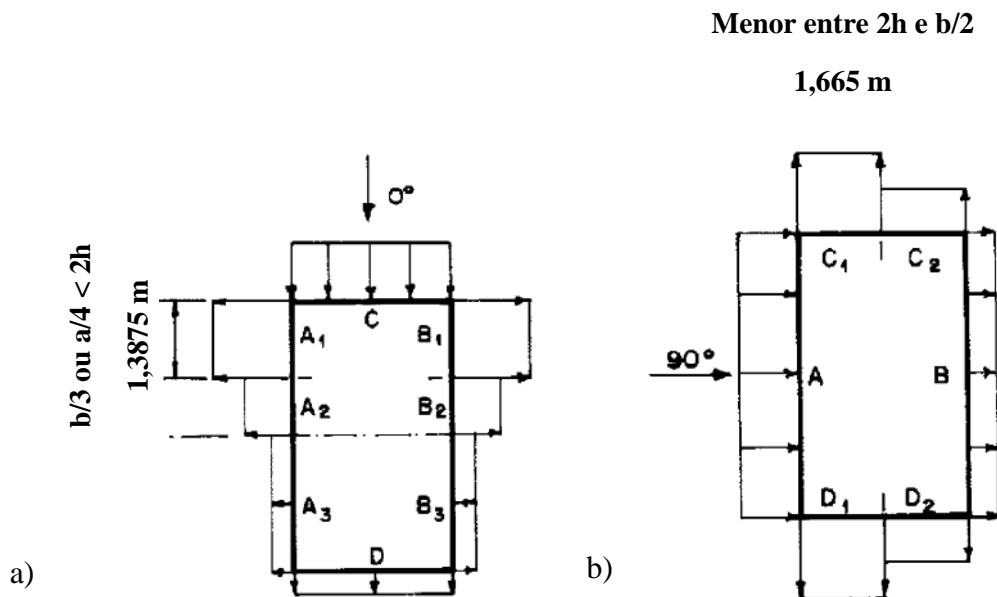


Figura 6.25: a) Coeficientes de pressão externa para um ângulo de 0° . b) Coeficientes de pressão externa para um ângulo de 90° . Adaptado de NBR 6123 (2013).

Para o tipo de construção em questão, é necessário verificar os coeficientes de pressão Externa (C_{Pe}) do telhado para três ângulos de incidência do vento a 0° e $\pm 90^\circ$. Os dados necessários sobre a construção são o comprimento (a), largura (b) e ângulo de inclinação (θ) do telhado, conforme mostra a Figura 6.24.

A proposta possui dimensões $5,55 \times 3,33 \times 2,30$ m e inclinação do telhado de 20° . A Tabela 6.14 mostra os valores de C_{Pe} para ângulo de incidência do vento. A razão entre altura e largura fica: $h/b = 2,30/3,33 < 2$.

Tabela 6.14: Valores de C_{Pe} para ângulo de incidência do vento. Adaptado de NBR 6123 (2013).

θ	90° (C)		45°		0°		-45°		-90°	
20°	H	H	H	L	HeL (A)	HeL (B)	H	L	H	L
	-0,8	-0,5	-1,0	-0,6	-0,9	-0,5	-0,5	-1,0	-0,2	-1,0

Os coeficientes de pressão externa para o telhado com ângulo 0° hipótese A, 0° hipótese B, 90° e -90° podem ser vistos, respectivamente, na Figura 6.26.a, Figura 6.26.b, Figura 6.26.b, Figura 6.26.c e Figura 6.26.d.

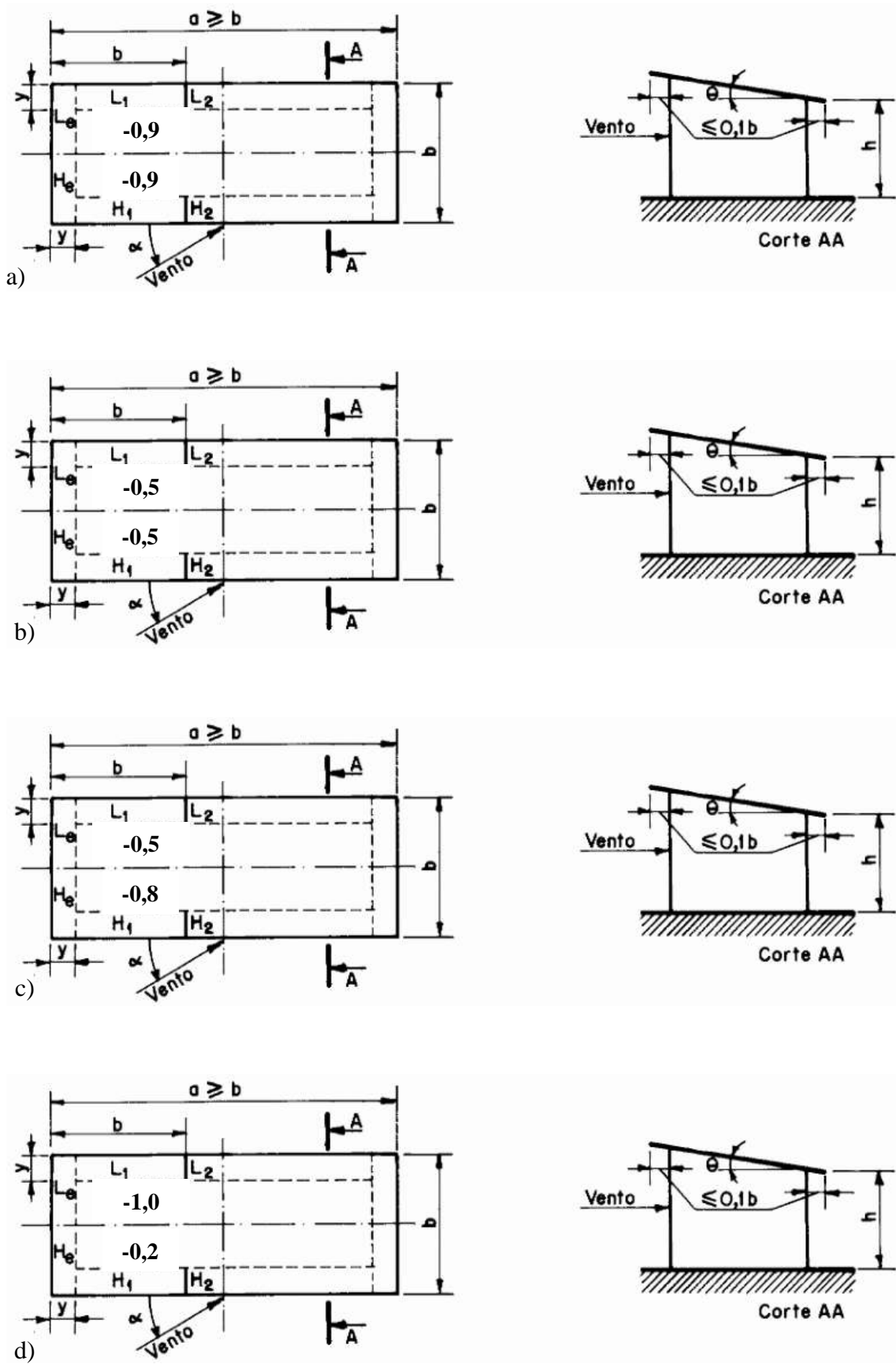


Figura 6.26: a) Para ângulo 0° hipótese A. b) Para ângulo 0° hipótese B. c) Para ângulo 90° . d) Para ângulo -90° . Adaptado de NBR 6123 (2013).

Os valores do coeficiente de pressão interna (C_{Pi}) obtidos para o ângulo de 0° - face mais permeável na região de barlavento é igual a 0, para o ângulo de 0° - face mais permeável na região de sotavento é igual a - 0,5 e para o ângulo de 90° - face mais permeável na região de barlavento foi adotado o caso mais nocivo, entre $C_{Pi} = 0$ e $C_{Pi} = - 0,5$. A Tabela 6.15 resume com as composições críticas de carregamento compostas pelo C_{Pe} e C_{Pi} .

Tabela 6.15: Composições dos casos críticos de carregamento.

Caso	Ângulo de Incidência do vento	C_{Pe} Parede	C_{Pe} Telhado	C_{Pi}
1	0°	- 0,5	- 0,5	0
2	90°	- 0,9	- 0,8 / -0,5	0
3	$- 90^\circ$	- 0,9	- 0,2 / - 1,0	0
4	$- 90^\circ$	- 0,9	- 0,2 / - 1,0	- 0,5

Com a carga estática equivalente de vento calculada, emprega-se a NBR 8681 (2003) para a verificação do estado limite último definido pelas combinações de ações apresentadas na Tabela 6.16.

Tabela 6.16: Combinações últimas dadas na NBR 8681 (2003).

Ação Variável Principal	Código	Combinação
Vento	Comb ₁	1,4 x (peso próprio + forro + telhas) + 1,4 x (caso1 + 0,7 carga acidental)
	Comb ₂	1,4 x (peso próprio + forro + telhas) + 1,4 x (caso 2 + 0,7 carga acidental)
	Comb ₃	1,4 x (peso próprio + forro + telhas) + 1,4 x (caso 3 + 0,7 carga acidental)
	Comb ₄	1,4 x (peso próprio + forro + telhas) + 1,4 x (caso 4 + 0,7 carga acidental)
Carga Acidental	Comb ₅	1,4 x (peso próprio + forro + telhas) + 1,4 x (0,6 caso 1 + carga acidental)
	Comb ₆	1,4 x (peso próprio + forro + telhas) + 1,4 x (0,6 caso 2 + carga acidental)
	Comb ₇	1,4 x (peso próprio + forro + telhas) + 1,4 x (0,6 caso 3 + carga acidental)
	Comb ₈	1,4 x (peso próprio + forro + telhas) + 1,4 x (0,6 caso 4 + carga acidental)

Com os coeficientes obtidos foi possível calcular a carga estática equivalente de vento e avaliar a resistência dos elementos estruturais bem como suas ligações no software comercial. A Figura 6.27 apresenta o modelo feito no software.

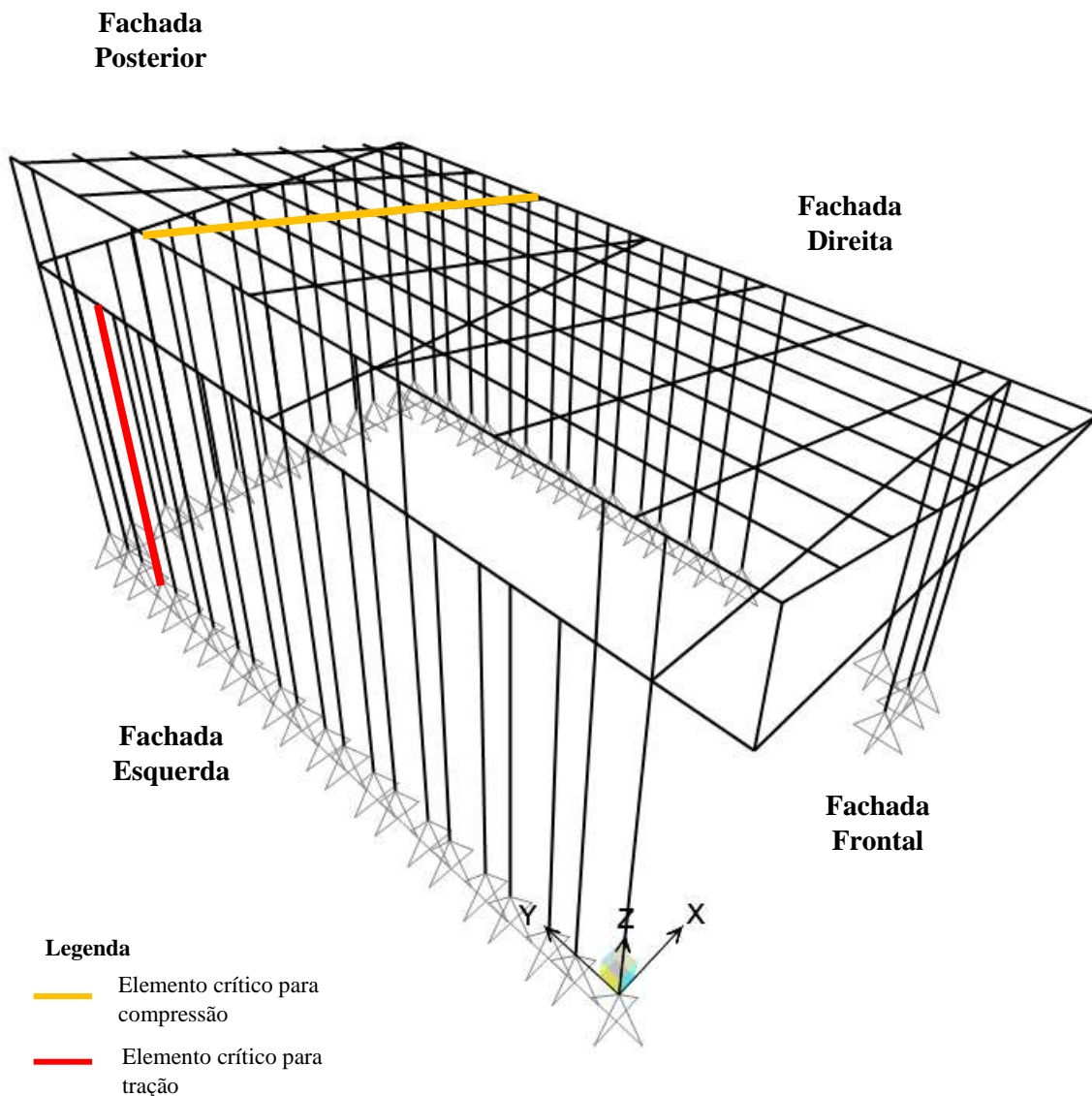


Figura 6.28: Perspectiva do modelo estrutural.

Os resultados da análise dos carregamentos são apresentados nos diagramas de momento fletor (DMF) e esforço normal (DEN) na Figura 6.29 para a fachada frontal, Figura 6.30 para a fachada esquerda, Figura 6.31 para a fachada posterior e na Figura 6.32 para a fachada direita. Em todas as fachadas o estado limite último mais crítico ocorreu pelas combinações de ações Comb₈ a Comb₂, respectivamente, para momento fletor e esforço normal.

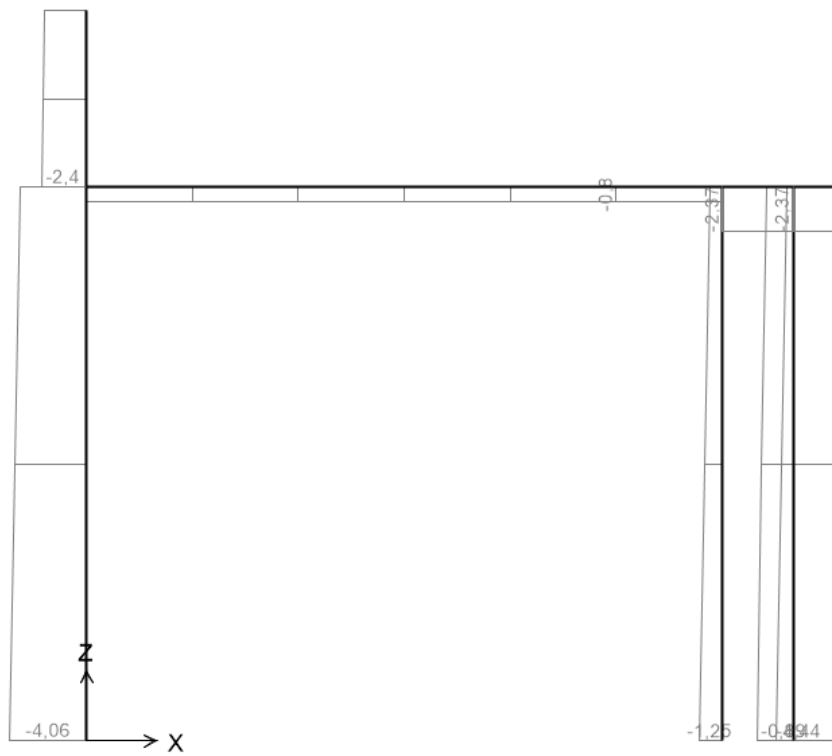
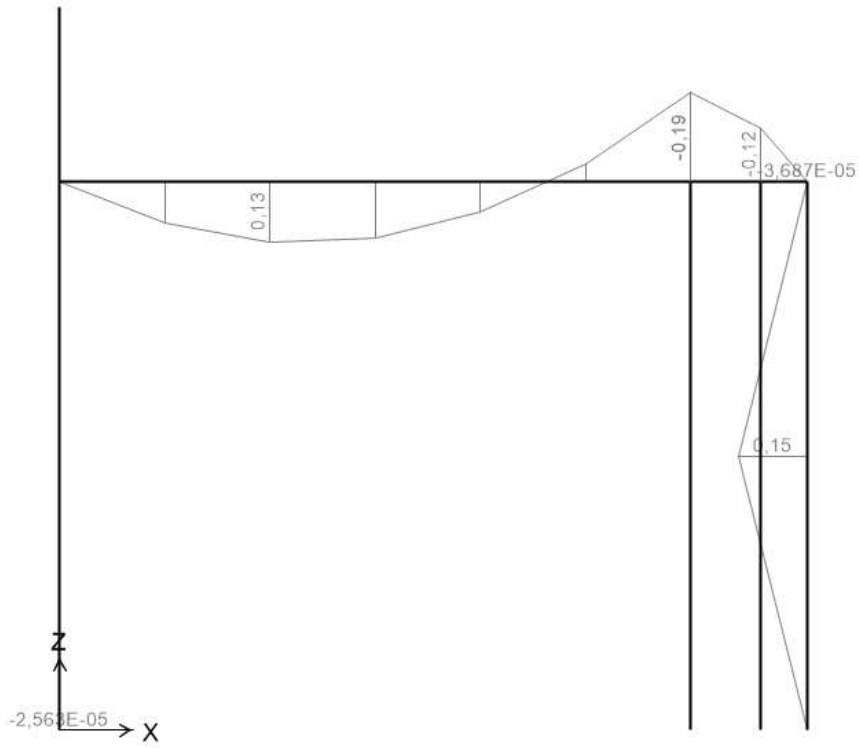


Figura 6.29: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN da fachada frontal.

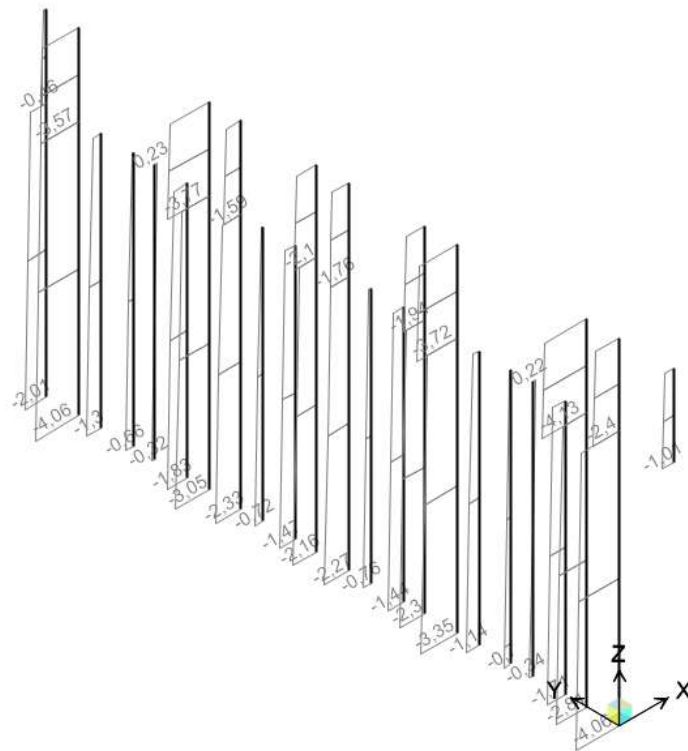
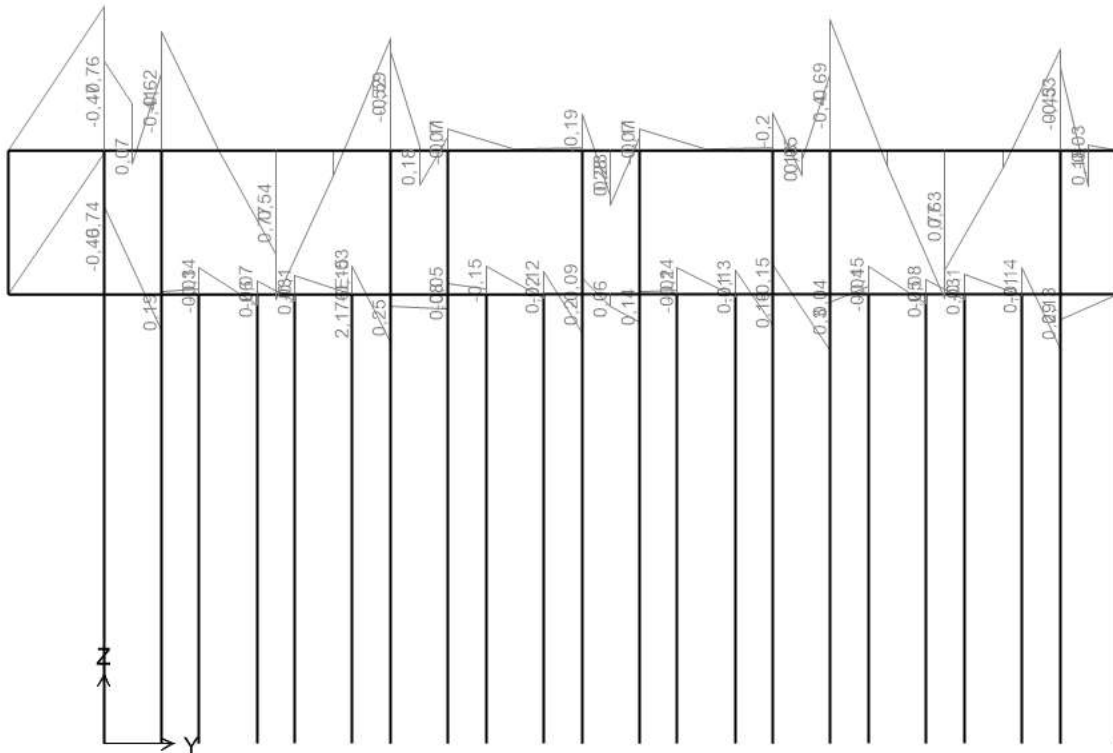


Figura 6.30: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN da fachada esquerda.

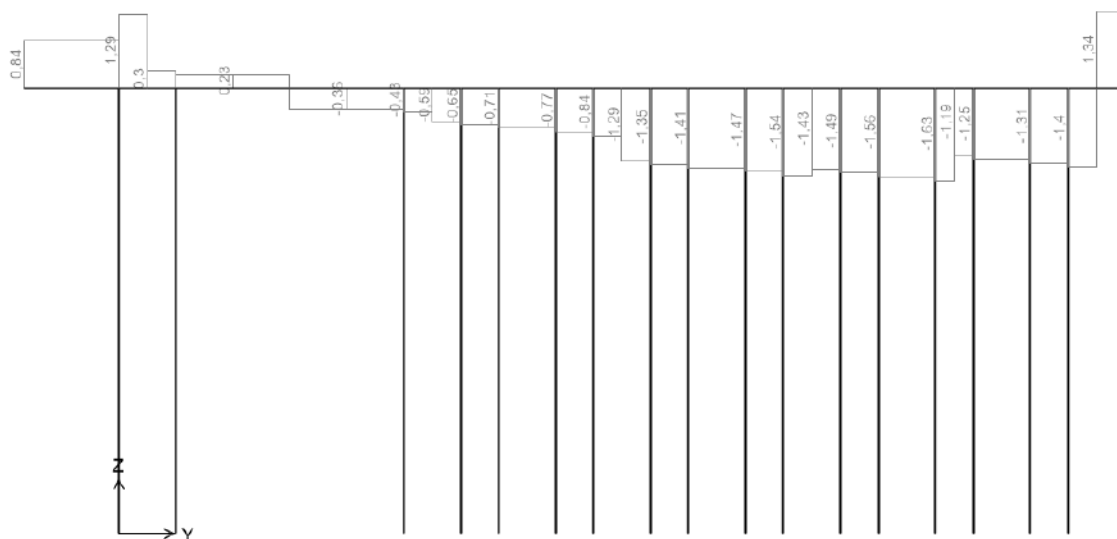
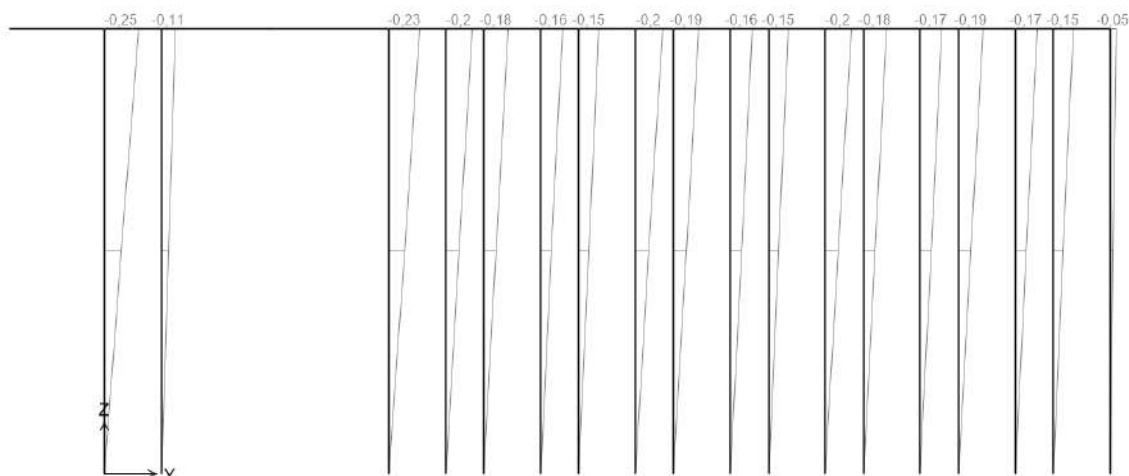


Figura 6.32: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN da fachada direita.

Os elementos críticos estão indicados na Figura 6.33. A Figura 6.34 apresenta o DMF e o DEN para o elemento cujo estado crítico é o da fibra mais comprimida e a Figura 6.35 mostra o DEN para o elemento com ligação flexível mais tracionada. O estado limite último mais crítico para a fibra mais comprimida ocorreu pela combinação de ações Comb₈. Já estado limite último mais crítico para a ligação ocorreu pela Comb₂.

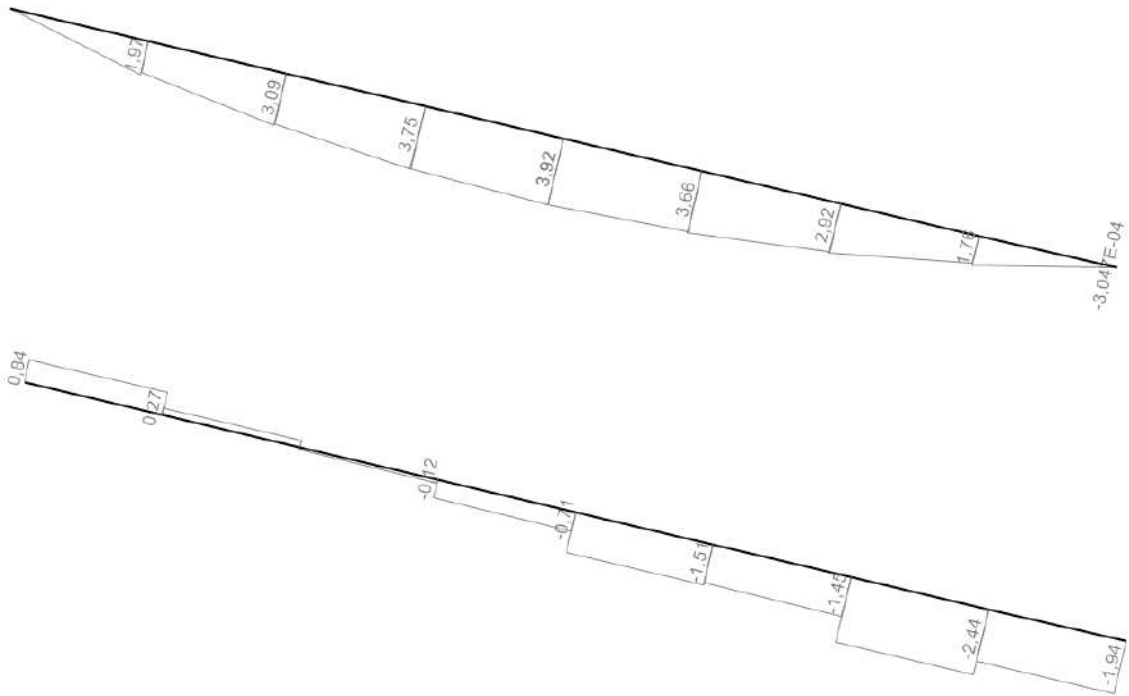


Figura 6.34: DMF e DEN, respectivamente, em kNm e kN do elemento crítico para compressão.



Figura 6.35: DEN, respectivamente, do elemento crítico para ligação em kN.

O cálculo da resistência à compressão de projeto é feito com base na NBR 7190 (1997) e na norma NBR 16828-1 (2020), através da equação 6.1:

$$F_d = \frac{K_{mod} \times f_{ck,est}}{\gamma_m} \quad (6.1)$$

Na qual:

F_d = Resistência à compressão de projeto (Mpa);

K_{mod} = Coeficiente de modificação da resistência;

$f_{ck,est}$ = Valor estimado da resistência característica (MPa);

γ_m = Coeficiente de minoração.

O k_{mod} é composto pela multiplicação de três fatores: do coeficiente relativo ao tipo de carregamento ($k_{mod,1}$), do coeficiente em função da umidade relativa do local onde a estrutura será inserida ($k_{mod,2}$) e do coeficiente que depende da qualidade (linearidade, presença de fissuras) do colmo de bambu e da espécie ($k_{mod,3}$). Para este estudo, conforme dados da NBR 7190 (1997), o $k_{mod,1} = 0,8$ porque possui um carregamento de longa duração e $k_{mod,2} = 0,8$, pois a umidade relativa de São Paulo encontra-se no intervalo $65 < UR < 85\%$. O $k_{mod,3} = 1,0$, conforme dados exibidos na Tabela 6.17.

Tabela 6.17: Valores de $k_{mod,3}$ para colmos secos sem defeitos visuais. Adaptado de Ghavami *et al.* (2017).

Espécie de Bambu	$k_{mod,3}$
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	1,0
<i>Dendrocalamus asper</i>	1,0
<i>Guadua angustifolia</i>	1,0
<i>Phyllostachys heterocycla pubescens</i> - Mossô	1,0
<i>Phyllostachys bambusoides</i> - Matake	1,0
<i>Bambusa vulgaris</i>	1,0
<i>Bambusa tuldooides</i>	1,0

O valor estimado da resistência característica ($f_{ck,est}$) para este estudo, segundo a NBR 12655 (2015), é dado pela equação 6.2 para casos excepcionais devido ao número pequeno de amostras, ou seja, quando trata-se de uma amostragem parcial, onde pode-se dividir a estrutura em lotes de no máximo 10 m³ e amostra-los entre 2 e 5 exemplares.

$$F_{ck,est} = \Psi_6 \times f_1 \quad (6.2)$$

Na qual:

$f_{ck,est}$ = Valor de resistência característica (Mpa);

Ψ_6 = Coeficiente dado pela Tabela 6.18 em função do número de amostras;

f_1 = Menor valor de resistência à compressão obtido no ensaio mecânico (MPa).

Tabela 6.18: Valores de Ψ_6 para o caso A devido ao modo de preparo das amostras.

Adaptado de NBR 12655 (2015)

Condição de Preparo	Número de exemplares (n)											
	2	3	4	5	6	7	8	10	12	14	≥ 16	
A	0,82	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97	0,99	1,00	1,02	

O valor do o coeficiente de minoração (γ_m), do coeficiente de modificação da resistência (k_{mod}), do coeficiente em função do número de amostras (Ψ_6), o menor valor dos ensaios realizados de resistência à ensaio de resistência à compressão do colmo dos colmos de bambu (f_1) e o valor característico da resistência ($f_{ck,est}$) utilizados para o cálculo da resistência à compressão de projeto ($f_{c0,d}$) podem ser observados na Tabela 6.19.

Tabela 6.19: Parâmetros para cálculo da resistência à compressão de projeto.

γ_m	k_{mod}	Ψ_6	f_1 (MPa)	$f_{ck,est}$ (MPa)	$f_{c0,d}$ (MPa)
2,00	0,64	0,91	43,41	39,50	12,64

Através desses coeficientes obteve-se como resultado o valor de resistência à compressão de projeto igual a 12,64 MPa, 31% superior ao valor máximo de estado limite último fornecido pelo software de 8,72 MPa. As tensões de tração solicitantes foram no máximo iguais as tensões de tração resistentes de projeto.

6.4.2 Flambagem

O cálculo de flambagem foi realizado com base na norma NBR 16828-1 (2020). Para determinar o comprimento de flambagem a peça foi analisada nos planos xz e yz. A

Figura 6.36 mostra que no plano xz o comprimento de flambagem é 1,175 m devido ao contraventamento com as ripas de madeira e no plano yz é 2,35 m. Este último é o caso mais crítico e, portanto, o que foi analisado.

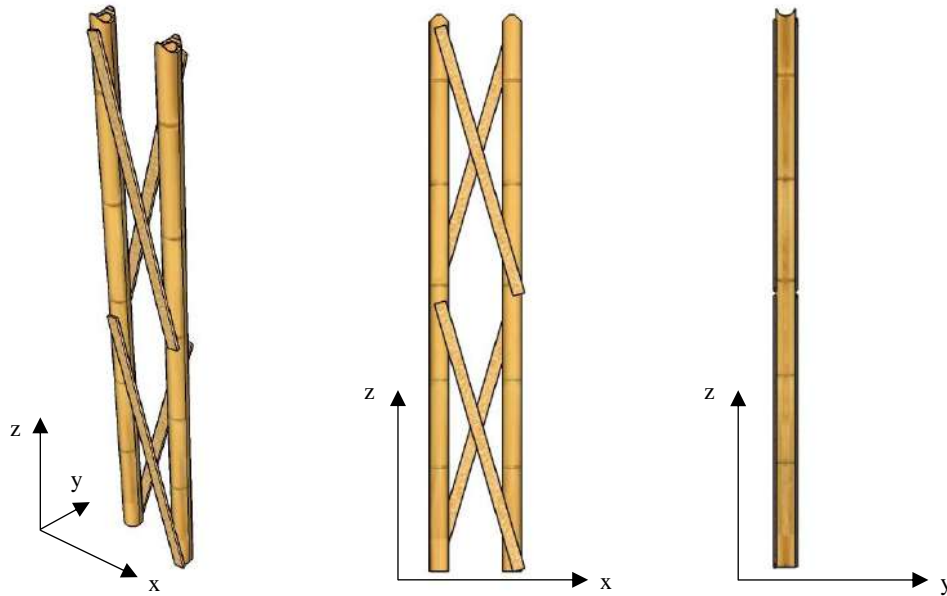


Figura 6.36: Análise para determinar o comprimento de flambagem do colmo.

Os valores do comprimento de flambagem (L_0), do momento de Inércia (I), da área da seção transversal (A), do raio de giração (i) e de esbeltez (λ) podem ser vistos na Tabela 6.20. As médias do maior diâmetro (\bar{D}), menor diâmetro (\bar{d}) e da espessura da parede (\bar{t}) foram feitos através das medições realizadas nos lotes de bambu deste trabalho, apresentadas anteriormente na Tabela 4.1.

Tabela 6.20: Parâmetros para o definição do pilar quanto a esbeltez.

L_0 (m)	I (m ⁴)	A (m ²)	i (m)	λ
2,35	$1,11 \times 10^{-6}$	0,001898	0,024183	97,18

Baseado na norma NBR 16828-1 (2020) com $\lambda = 97,18$, o caso se enquadra em pilar esbelto ($70 \leq \lambda \leq 150$), onde o cálculo da excentricidade (e) e da segurança controlada pela tensão de compressão máxima são dados pelas equações 6.3 e 6.4, respectivamente.

$$e = e_i + e_a + e_c \quad (6.3)$$

Na qual:

e = Excentricidade total (m);

e_i = Excentricidade inicial (m);

e_a = Excentricidade acidental (m);

e_c = Excentricidade devido a fluência do bambu (m).

$$\sigma_{Nd} + \sigma_{Md} + \sigma_{ecz} < \sigma_{fl} \quad (6.4)$$

Na qual:

σ_{Nd} = Tensão devido ao esforço normal (MPa);

σ_{Md} = Tensão devido ao momento fletor (MPa);

σ_{ec} = tensão devido a excentricidade (MPa);

σ_{fl} = Força limite a ser considerada, levando em conta a flambagem e o esmagamento da parede do bambu.

Como o pilar é considerado como rotulado nas extremidades, o cálculo da excentricidade inicial (e_i) é feito pela divisão da média do maior diâmetro dos colmos de bambu (\bar{D}) pelo número 20. Já a excentricidade acidental (e_a) é dada pelo comprimento de flambagem (L_0) dividido pelo número 100. A excentricidade devido à fluência do bambu (e_c) é dada pela equação 6.5.

$$e_c = (e_i \text{ ou } e_a) \times [2,718^\alpha - 1] \quad (6.5)$$

Na qual:

e_c = Excentricidade devido a fluência do bambu.

e_i ou e_a = Excentricidade inicial ou excentricidade acidental, respectivamente (tomar o maior entre eles);

Sendo:

$$\alpha = \frac{\varphi [N_{g,k} + (\Psi_1 + \Psi_2) \times N_{q,k}]}{F_E - [N_{g,k} + (\Psi_1 + \Psi_2) \times N_{q,k}]}$$

Onde:

$$\Psi_1 + \Psi_2 \leq 1$$

$$F_E = \frac{\pi^2 \times E_b \times I}{(L_0)^2}$$

Nas quais:

α = Excentricidade devido a fluência do bambu.

φ = Coeficiente de fluência do bambu com valor igual a 0,8;

Ψ_1 = Coeficiente da NBR 8681 (2003) correspondente à representação frequente de uma ação, podendo ser tomada de forma simplificada igual a 0,5;

Ψ_2 = Coeficiente da NBR 8681 (2003) correspondente à representação quase permanente de uma ação, podendo ser tomada de forma simplificada igual a 0,4;

$N_{g,k}$ = Esforço normal devido às ações permanentes com seu valor característico (kN);

$N_{q,k}$ = Esforço normal devido às ações acidentais com seu valor característico (kN);

F_E = Força de Euler (kN);

E_b = Módulo de elasticidade do bambu em compressão paralela as fibras (MPa);

L_0 = Comprimento de flambagem (m);

I = Momento de Inércia (m⁴).

A excentricidade acidental (e_a) foi superior a inicial (e_i) e, portanto, foi a escolhida para o cálculo de excentricidade devido a fluência do bambu (e_c). O cálculo de $N_{g,k}$ é feito pela soma do peso próprio (2,52 kN), forro (0,13 kN) e telhas (0,13 kN).

Já $N_{q,k}$ é a soma da carga acidental e do vento (2,59 kN). A Tabela 6.21 apresenta os valores necessários para o cálculo da excentricidade (e).

Tabela 6.21: Parâmetros para o definição da excentricidade.

e_i (m)	e_a (m)	e_c (m)	F_E (kN)	E_b (MPa)	α	φ	Ψ_1	Ψ_2	$N_{g,k}$ (kN)	$N_{q,k}$ (kN)	e (m)
0,003836	0,0235	0,0043	29,63	14940	0,1668	0,80	0,50	0,40	2,78	2,59	0,0316

É possível calcular o momento devido a excentricidade (M_{ec}) pois ele é dado pela multiplicação da excentricidade (e) e do esforço normal de cálculo (N_d), sendo este último obtido através da modelagem no software SAP 2000. Em seguida foi calculada pela equação 6.6 a tensão devido a excentricidade (σ_{ec}), a qual deve ser considerada como parte da tensão solicitante de cálculo que é a soma de σ_{Nd} e σ_{Md} , obtidas através do software SAP 2000 pela Comb₂.

$$\sigma_{ec} = -\frac{y \times M_{ec}}{I} \quad (6.6)$$

Sendo:

$$y = 0,5 \times \bar{D}$$

Nas quais:

σ_{ec} = tensão devido a excentricidade (MPa);

y = fibra mais distante do centro geométrico da seção transversal (m);

M_{ec} = momento devido a excentricidade (kN.m);

I = Momento de Inércia (m⁴);

\bar{D} = média do maior diâmetro do colmo.

Os valores do esforço normal de cálculo (N_d), do momento devido a excentricidade (M_{ec}), fibra mais distante do centro geométrico da seção transversal (y), da tensão devido a excentricidade (σ_{ec}) e da tensão solicitante de cálculo ($\sigma_{Nd} + \sigma_{Md}$) podem ser vistos na Tabela 6.22.

Tabela 6.22: Parâmetros para o definição da tensão devido a excentricidade.

N_d (kN)	M_{ec} (kNm)	y (m)	σ_{ec} (MPa)	$\sigma_{Nd} + \sigma_{Md}$ (MPa)
4,06	0,1283	0,0384	4,435	1,03437

A tensão limite a ser considerada (σ_{fl}) é dada pelo menor valor entre o $f_{c0,d}$ (12,64 MPa) e a Força de Euler (F_E) dividida pela área da seção transversal do colmo de bambu (A) que é igual a 15,61 MPa. Portanto, deve ser considerado $\sigma_{fl} = 12,64$ kN.

É possível então afirmar que a soma de σ_{ec} , σ_{Nd} e σ_{Md} é igual a 5,469 MPa é menor que a σ_{fl} (12,64 kN), satisfazendo a condição descrita pela norma NBR 16828-1 (2020) quanto a flambagem e conseqüentemente que a estrutura não irá a colapso.

6.4.3 Ligações

6.4.3.1 Esmagamento do colmo de bambu

Para obter a tensão de esmagamento do colmo (σ_e) e poder compará-la com a resistência à compressão de projeto ($f_{c0,d}$), é necessário utilizar a equação 6.7. A força de tração em uma área de contato do colmo com o pino ($F_{t,a}$) é obtida a partir do cálculo da metade do esforço cortante dado pelo software SAP 2000.

$$\sigma_e = \frac{F_{t,e}}{A_p} \quad (6.7)$$

Sendo:

$$A_p = D_p \times \bar{t}$$

Nas quais:

σ_e = tensão de esmagamento do colmo;

$F_{t,a}$ = Força de tração em uma área de contato;

A_p = Área de contato pino-colmo em um lado do corpo de prova.

\bar{t} = Espessura média da parede do colmo;

D_p = Diâmetro do pino.

A Tabela 6.23 apresenta os valores de área de contato pino-colmo em um lado do corpo de prova (A_p), diâmetro do pino de aço (D_p), espessura média da parede do colmo (\bar{t}), tensão de esmagamento do colmo (σ_e) e força de tração em uma área de contato ($F_{t,a}$).

Tabela 6.23: Parâmetros para o definição da tensão de esmagamento do colmo.

Pino	A_p (m ²)	D_p (m)	\bar{t} (m)	$F_{t,a}$ (kN)	σ_e (MPa)
Aço	$7,07 \times 10^{-5}$	0,00794	0,00891	0,116	1,6408
Bambu	$9,50 \times 10^{-5}$	0,01100	0,00891	0,116	1,1837

A verificação está de acordo com a NBR 16828-1 (2020), uma vez que as tensões de esmagamento (σ_e) são menores que $f_{c0,a}$ (12,64 MPa).

6.4.3.2 Cisalhamento do pino de bambu

Para verificar o cisalhamento do pino foi extraída do software SAP 2000 a força de tração (F_t). Como citado anteriormente, a força de tração em uma área de contato do colmo com o pino ($F_{t,a}$) é obtida a partir do cálculo da metade de (F_t). A tensão de cisalhamento solicitante (τ_d) é dada pela equação 6.8.

$$\tau_d = 1,33 \frac{F_{t,a}}{A_p} \quad (6.8)$$

Na qual:

τ_d = Tensão de cisalhamento solicitante (MPa);

$F_{t,a}$ = Força de tração em uma área de contato do colmo com o pino (kN);

A_p = Área de contato pino-colmo em um lado do corpo de prova (m²).

A NBR 16828-1 (2020) permite que a partir da resistência à compressão paralela as fibras seja definida a resistência característica do bambu, como mostra a Tabela 6.24.

A partir disso, é possível então calcular a resistência ao cisalhamento característico na direção paralela as fibras ($f_{v0,k}$), já que o pino que compõe a ligação flexível também é feito em bambu.

Tabela 6.24: Resistências características do bambu a partir da resistência característica à compressão paralela às fibras. Adaptado de NBR 16828-1 (2020).

Propriedade	$f_{t0,k}$	$f_{v0,k}$	$f_{c90,k}$	$f_{M0,k}$	$E_b = E_{c0}$
Valor	$1,3 f_{c0,k}$	$0,15 f_{c0,k}$	$0,1 f_{c0,k}$	$1,1 f_{c0,k}$	$300 f_{c0,k}$

A resistência ao cisalhamento de projeto na direção paralela as fibras ($f_{v0,d}$), é dado pela equação 6.9.

$$f_{v0,d} = \frac{K_{mod} \times f_{v0,k}}{\gamma_m} \quad (6.9)$$

Na qual:

$f_{v0,d}$ = Resistência ao cisalhamento de projeto na direção paralela as fibras (Mpa);

K_{mod} = Coeficiente de modificação da resistência;

$f_{v0,k}$ = Resistência ao cisalhamento característico na direção paralela as fibras (MPa);

γ_m = Coeficiente de minoração.

A Tabela 6.25 apresenta o tipo de pino, área de contato pino-colmo em um lado do corpo de prova (A_p), a força de tração (F_t), força de tração em uma área de contato do colmo com o pino ($F_{t,a}$) e a tensão de cisalhamento solicitante (τ_d).

Tabela 6.25: Parâmetros para verificação do cisalhamento do pino de bambu.

Pino	A_p (m ²)	F_t (kN)	$F_{t,a}$ (kN)	τ_d (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$f_{v0,d}$ (MPa)
Bambu	$9,50 \times 10^{-5}$	0,232	0,116	1,628	5,925	1,896

A verificação está de acordo com a NBR 16828-1 (2020), uma vez que $\tau_d \leq f_{v0,d}$.

6.4.3.3 Cisalhamento do pino de aço

Para verificar o cisalhamento do pino de aço deve-se observar a resistência do tipo de aço utilizado na sua composição, que pode ser visto na Tabela 6.26.

Tabela 6.26: Propriedades mecânicas dos aços para conectores Adaptado de Pfeil e Pfeil (2000).

Tipo de conector		f_v (MPa)	f_u (MPa)
Barras rosqueadas	ASTM A36	250	400

Baseado no trabalho de Pfeil e Pfeil (2000), a tensão resistente de projeto de conectores a corte (σ_R) é dada pela equação 6.10.

$$\sigma_R = \frac{R_{nv}/A_g}{\gamma_{a2}} \quad (6.10)$$

Sendo:

$$R_{nv}/A_g = 0,5 \times f_u$$

Nas quais:

σ_R = Tensão resistente de projeto de conectores a corte (Mpa);

R_{nv}/A_g = Tensão resistente nominal (MPa);

γ_{a2} = 1,35 para solicitações originadas de combinações normais de ações;

f_u = Tensão de ruptura à tração (MPa).

A força de tração em uma área de contato do colmo com o pino ($F_{t,a}$) foi obtida conforme item 6.4.3.2. A tensão de cisalhamento máxima ($\tau_{m\acute{a}x}$) foi calculada através da equação 6.8, também utilizada para o cálculo de τ_d e supracitada no mesmo item deste estudo. A Tabela 6.27 apresenta o tipo de pino, área de contato pino-colmo em um lado do corpo de prova (A_p), a força de tração em uma área de contato do colmo com o pino ($F_{t,a}$) e a tensão de cisalhamento máxima ($\tau_{m\acute{a}x}$), a tensão de ruptura à tração (f_u), o valor

correspondente para as solicitações originadas de combinações normais de ações (γ_{a2}) e tensão resistente de projeto de conectores a corte (σ_R).

Tabela 6.27: Parâmetros para verificação do cisalhamento do pino de aço.

Pino	A_p (m ²)	$F_{t,a}$ (kN)	$\tau_{m\acute{a}x}$ (MPa)	f_u (MPa)	γ_{a2}	σ_R (MPa)
Aço	$7,07 \times 10^{-5}$	0,116	3,126	400	1,35	148,148

A verificação está de acordo com a NBR 8800 (2008), uma vez que a tensão de cisalhamento solicitante ($\tau_{m\acute{a}x}$) é menor que a tensão de cisalhamento resistente (σ_R).

6.4.3.4 Flexão do pino de aço

A flexão do pino de aço deve ser verificada devido ao modelo de ligação rígida escolhida, que possui um gancho na vertical que tende a puxar o na horizontal. Inclusive, a norma NBR 16828-1 (2020) afirma que se na ligação existirem pinos metálicos, estes devem ter sua resistência à flexão verificada. A Figura 6.37 mostra o esquema de cálculo para obter o momento fletor (M), a Força (F) e o comprimento da viga equivalente (L).

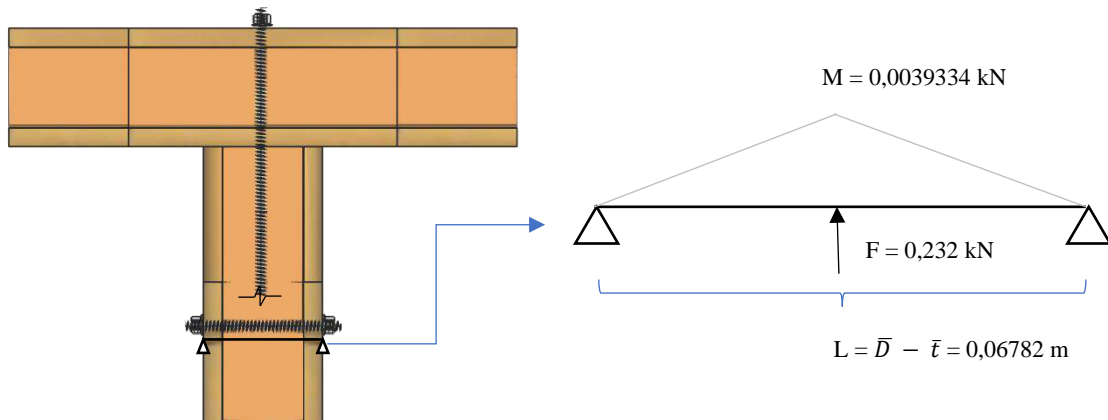


Figura 6.37: Esquema para análise da flexão do pino de aço.

A força (F) é dada pelo software SAP 2000. Para o cálculo da tensão máxima solicitante devido a flexão (σ_{SF}) foi utilizada a equação 6.6 descrita no item 6.4.2. A tensão resistente (σ_F) é dada pela equação 6.11.

$$\sigma_F = \frac{f_v}{\gamma_{a1}} \quad (6.11)$$

Na qual:

σ_F = Tensão resistente (Mpa);

f_v = Tensão de escoamento ao cisalhamento, dada pela Tabela 6.26 (MPa);

γ_{a1} = Coeficiente parcial de segurança, dado pela Tabela 6.28;

Tabela 6.28: Parâmetros para o definição da tensão devido a excentricidade. Adaptado de Pfeil e Pfeil (2000).

Materiais	Combinações de ações			
	γ_m	Normais	Especiais ou de construção	Excepcionais
Aço estrutural, pinos e parafusos – Estados limites de escoamento e flambagem	γ_{a1}	1,10	1,10	1,00

Os valores do Momento de inércia (I_F), coordenada da fibra mais afastada da linha neutra (y), momento fletor (M), tensão máxima solicitante devido a flexão (σ_{SF}), coeficiente parcial de segurança (γ_{a1}), tensão de escoamento ao cisalhamento (f_v) e tensão resistente (σ_F) podem ser vistos na Tabela 6.29.

Tabela 6.29: Parâmetros para verificação da flexão do pino de aço.

I_F (m ⁴)	y (m)	M (kN)	σ_{SF} (MPa)	γ_{a1}	f_v (MPa)	σ_F (MPa)
$1,95 \times 10^{-10}$	0,1283	0,0039334	80,1146	1,10	250	227,2727

A verificação está de acordo com a NBR 8800 (2008), uma vez que a tensão de solicitante (σ_{SF}) é menor que a tensão resistente (σ_F).

A ligação flexível e a ligação rígida foram verificadas pela avaliação de seus componentes, (pino de bambu e de aço), que apresentaram resistência superior a sollicitação de tração calculada na análise estrutural garantindo a segurança.

Capítulo 7

Conclusões

A partir dos resultados obtidos no presente estudo pode-se concluir que:

- O bambu e o bioconcreto de bambu mostraram-se materiais versáteis e inovadores para aplicação no sistema construtivo proposto, capazes de proporcionarem diversas soluções arquitetônicas quanto a abrigos emergenciais.

- O sistema estrutural proporcionou o projeto de um protótipo de abrigo emergencial semipermanente sustentável e termicamente eficiente que une estética e adaptabilidade não apenas de planta como de usos da edificação.

- Os materiais selecionados e o design/arranjo das formas escolhidas permitiram a obtenção de uma peça pré-fabricada leve, com peso total inferior ao de um homem de estatura mediana na idade adulta, o qual pode ser transportado por duas pessoas.

- A resistência à compressão do colmo com quatro nós foi de 48,29 MPa, inferior a de colmos mais curtos estudados por outros autores pois o corpo de prova apresentou flambagem local nas proximidades do diafragma extremo mais próximo da rótula de aplicação da carga.

- Quanto ao ensaio de resistência à compressão viga-colmo, os corpos de prova com diafragma no centro da boca de peixe mostraram melhores resultados quanto a carga máxima, carga de primeira fissura e tensão máxima no colmo vertical observada durante o ensaio (acréscimos de 11%, 15% e 25% respectivamente). Consequentemente, concluiu-se que dentre os casos estudados a melhor posição foi com o diafragma no centro da boca de peixe.

- A ligação flexível, por utilizar cordão com fibra de algodão, é uma alternativa mais ecológica e simples pela fácil disponibilidade e reposição. No entanto, sua

resistência foi limitante para o comportamento da ligação já que sua ruptura resultou na ruptura da ligação.

- A ligação rígida teve resultados mais satisfatórios quanto a carga máxima (acréscimo de 24%) e rigidez (menores deslocamentos para o mesmo nível de carga até a proximidade da ruptura), em comparação com a ligação flexível. No entanto, elas requerem disponibilidade de aço, usinagem mais complexa e custos maiores.

- A análise estrutural realizada indicou que as tensões máximas de compressão atuantes nos colmos são inferiores às resistências à compressão de cálculo do colmo de bambu e que as tensões de tração solicitantes foram no máximo iguais as tensões de tração resistentes de cálculo.

- A verificação da flambagem atendeu aos requisitos da norma e não ocorrerá flambagem dos tubos de bambu para o protótipo do abrigo emergencial estudado.

- Por meio do modelo estrutural foi observado que tanto a ligação rígida como a flexível atendem às cargas de tração provocada pela ação do vento para as condições estudadas.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Este estudo foca no painel pré-fabricado e na sua ligação com a viga que envolve todo o abrigo emergencial. Todavia, seria relevante realizar estudos sobre a fundação, piso, ligações do painel com o piso e ligações dos elementos que compõem a cobertura a nível de caracterização e detalhamento.

Como sugestão, seria interessante realizar ainda estudos sobre pigmentação de bioconcretos a fim de não só reduzir os custos com acabamentos, como também possibilitar uma maior variedade de opções de escolha dos painéis pré-fabricados, podendo expandir seu uso para a construção civil. Poderiam realizar testes de como pigmentar a matriz sem interferir na coloração do bioagregado de bambu.

Como aprofundamento de estudos do bambu *Phyllostachys pubescens*, deveriam ser mapeadas as resistências médias à compressão de colmo longos (de 3 a 3,5m de comprimento) com as imperfeições naturais dos mesmos. Isto daria parâmetros relevantes

aos profissionais da construção civil para pré-dimensionar seus projetos em bambu.

As ligações flexíveis e rígidas podem ser melhor estudadas, principalmente no que se refere a durabilidade e cargas repetidas.

Referências Bibliográficas

ACNUR. 5 dados sobre refugiados que você precisa conhecer, 2019. Disponível em: <<https://www.acnur.org/portugues/2019/04/09/5-dados-sobre-refugiados-que-voce-precisa-conhecer/>>. Acesso em: 20 de Set. de 2019.

ACNUR. ACNUR: número de pessoas deslocadas chega a 68,5 milhões em 2017, 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acnur-numero-de-pessoas-deslocadas-chega-a-685-milhoes-em-2017/>>. Acesso em: 27 de Nov. de 2019.

AMZIANE, S.; COLLET, F. (Ed.). *Bio-aggregates Based Building Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 236-BBM*. Springer, 2017.

ANDERS, G. C. *Abrigos Temporários de Caráter Emergencial*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP, 2007. 119p.

ANDREOLA, V., DA GLORIA, M., TOLEDO FILHO, R. Behaviour under bending loads of workable bamboo bio-concrete. *17th International Conference on Non-Conventional Materials (NOCMAT) and Technologies: Construction Materials and Technologies for Sustainability*, 7:13, 2018.

ANDREOLA, V.M; *Caracterização física, mecânica e ambiental de bioconcretos de bambu*. Dissertação de Mestrado. UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, 2017.

ANDREOLA, V.M; DA GLORIA, M.Y; SANTOS, D. O; TOLEDO FILHO, R.D; Partial replacement of cement by combination of fly ash and metakaolin in bamboo bio-concretes. *3 rd International Conference on Bio-Based Building Materials* ,2019.

ANDREOLA, V.M; *Durabilidade físico-química e biodegradação de bioconcretos de bambu*. Rio de Janeiro: UFRJ-COPPE, 2019. (Proposta de Tese de Doutorado, Qualificação)

ANTONIO, F. *et al. Non-conventional Building Materials based on Agro-industrial Wastes*. [S.l: s.n.], 2015. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/276900261>>. Acesso em: 25 de Maio de 2020.

ARCHDAILY. Os projetos humanitários de Shigeru Ban, 2020. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/01-185116/projetos-humanitarios-de-shigeru-ban> >. Acesso em: 10 de Maio de 2020.

ARCHDAILY. Port-a-Bach/Atelier Workshop, 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/99412/port-a-bach-slash-atelier-workshop>> Acesso em: 25 de Maio de 2020.

ARCH-TEC. Irradiação de energia térmica & ventilação natural, 2015. Disponível em: <<http://arch-tec.com.br/page-conforto-termico.html>>. Acesso em: 05 de Junho de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13276: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos—Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência padrão. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto—Ensaio de compressão de corpos-de-cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. São Paulo, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira. São Paulo, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522: Concreto- Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9939: Agregados – Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Rio de Janeiro, 2009. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. PROJETO NBR 16828-1: Estruturas de Bambu – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

BAI, X. *Experimental and Numerical Evaluations of Bamboo-based Composite Materials*. Diss. Ph. D Dissertation, Clemson University, Clemson, SC, 1996.

BARBOSA, N. P. Considerações sobre materiais de construção convencionais e não convencionais. João Pessoa: *Publicação do Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas do Centro de Tecnologia da UFPB*, 2005.

BELLINI, P. Como funciona um campo de refugiados. *Superinteressante*, 2018. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/historia/como-funciona-um-campo-de-refugiados/>>. Acesso em: 19 de Mar. 2019.

BERNDSEN, R.S. *Caracterização anatômica, física e mecânica de lâminas de bambu (Phyllostachys pubescens)*. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

BIOCLIMÁTICA A&S. Yurts e Gers: arquitetura vernacular na Ásia Central, 2016. Disponível em: <<https://bit.ly/2N1yYrO>>. Acesso em: 30 de Jan.de 2020.

BORILLE, G. M. R. Conforto Ambiental & Bioclimatismo: Aula 8, 2015. 36 f. Notas de Aula. Disponível em: < http://www.civil.ita.br/graduacao/disciplinas/extras/edi-64_2015_aula%208_bioclimatismo_vf.pdf>. Acesso em: 11 de Jun. de 2020.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS EN 310: Wood-based panels: Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Londres, 1993.

COORDENADORIA ESTADUAL DE DEFESA CIVIL. *Coordenador operacional de emergência – Guia prático*. Defesa Civil. São Paulo, p. 20. 2001.

CORSELLIS, T. *Transitional Shelter Guidelines*. Suíça: Shelter Centre, 2009. 51p.

COSTA, V. et al. Potential of bamboo organosolv pulp as a reinforcing element in fiber–cement materials. *Construction and Building Materials*, Edinburgh, v. 72, p. 65-71, 2014.

CUSSACK, V. *Bamboo world: the growing and use of clumping bamboos*. Sydney: Kangaroo Press, 1999.

DA GLORIA, M. Y. R; TOLEDO FILHO; R. D. Influence of the wood shavings/cement ratio on the thermomechanical properties of lightweight wood shavings-cement based composites. In: *6th AMAZON and PACIFIC GREEN MATERIALS CONGRESS and*

SUSTAINABLE CONSTRUCTION MATERIALS LAT-RILEM CONFERENCE.,
Universidad del Valle, Cali, Colombia, Abril 2016.

DA GLÓRIA, M.Y.R. *Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches de concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal*. Dissertação de Mestrado. UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, 2015.

DA SILVA, N. A. *Estudo da aderência bambu-bioconcreto*. Dissertação de Mestrado. UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, 2019.

DECLARAÇÃO UNIVERSAL DOS DIREITOS HUMANOS. Declaração Universal dos Direitos Humanos, 1948. Disponível em: <http://www.educacao.mppr.mp.br/arquivos/File/dwnld/educacao_basica/educacao%20in%20fantil/legislacao/declaracao_universal_de_direitos_humanos.pdf>. Acesso em: 15 de Maio de 2020.

DORNOB. *Emergency Houseboats: Bamboo Shelters Float on Oil Drums*. Dornob, 2013. Disponível em: <<https://dornob.com/emergency-houseboats-bamboo-shelters-float-on-oil-drums/>>. Acesso em: 13 de Março de 2020.

DOS SANTOS, T. O. et al. *Recyclable steel for use in radial knives in the manufacture for longitudinal cut bamboo/ utilização de aços recicláveis na fabricação de facas radiais para corte longitudinal de bambu*. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 15, n. 1, p. 15, 2018.

EDWARDS, A. *ACNUR: Refugiado ou Migrante? O ACNUR incentiva a usar o termo correto*, 2015. Disponível em: <https://www.acnur.org/portugues/2015/10/01/refugiado-ou-migrante-o-acnur-incentiva-a-usar-o-termo-correto/>

FIALHO, E. G.; SILVA, A. L. P. D.; TONHOLO, J. *Desenvolvimento da Cadeia Produtiva do Bambu: Uma Oportunidade Para Empreender*. *IX Seminário Latino-Iberoamericano de Gestão Tecnológica*. Salvador: [s.n.]. 2005. p. 10.

FILGUEIRAS, T. S.; GONÇALVES, A. Checklist of the Basal Grasses and Bamboos in Brazil (POACEAE). *Bamboo Science and Culture: The Journal of the American Bamboo Society*, v. 18, p. 7-18, 2004.

FURUKAWA, C. Como são construídos os Iglus. Universidade de São Paulo (USP), 2012. Disponível em: <<http://mundoestranho.abril.com.br/materia/como-sao-contruidos-os-iglus>>. Acesso em: 30 de Jan.de 2020.

GHAVAMI, K., MARINHO, A.B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. *Revista Engenharia Agrícola*, v.9, n.1, 2005.

GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. P.; MOREIRA, L. E. Bambu como Material de Engenharia. In: FABRICIO, M. M.; BRITO, A. C.; VITTORINO, F. (org.). Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação. 3. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2017. p. 305-348

GHAVAMI, K.; RODRIGUES, C. de S.; PACIORNIK, S. Bamboo: Functionally graded composite material,” *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 1-10, 2015.

GOMES, B. Reação ao fogo e comportamento sob altas temperaturas do bambu mossô (l. *phyllostachys pubescens*). Dissertação de Mestrado. UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, 2019.

GRABOIS, T. M. *Desenvolvimento e caracterização experimental de concretos leves autoadensáveis reforçados com fibras de sisal e aço*. Dissertação de mestrado. UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, 2012.

GRECO, T. M.; CROMBERG, M. *Bambu - Cultivo E Manejo*. 1. ed. [S.l.]: Insular, 2011.

HIDALGO-LOPEZ, O. *Bamboo: The gift of the gods*. D,vinni Ltda., Bogotá-Colômbia, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SP (IPT). Informações sobre madeiras, 2006. Disponível em: <

http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=13>. Acesso em: 03 de Julho de 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO): Bamboo - Structural design, ISO 22156: 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO): Bamboo structures — Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms — Test methods, ISO 22157: 2019.

IWAKIRI, S.; SILVA, L. S.; TRIANOSKI, R.; BONDUELLE, G. M.; ROCHA, V. Y. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* "Paricá" e *Cecropia hololeuca* "Embaúba" para produção de painéis cimento-madeira. *Cerne*, v. 18, n. 2, p. 303-308, 2012.

JESSÉ, F. *Habitação emergencial para refugiados em clima quente e seco*. Trabalho de Graduação do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Joinville, 2015.

JUNQUEIRA, M. G. *Abrigo Emergencial Temporário*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Ciências de Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2011.

KRAUSE, J.Q. *Micro e macromecânica de lâminas de bambu *Dendrocalamus giganteus* para aplicações estruturais*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil. PUC-Rio de Janeiro, 2015.

KRONENBURG, R. *Houses in motion: the genesis, history and development of the portable building*. London: Academy Editions, 1995. 168 p.

KRONENBURG, R. *Houses in motion: the history and development of the portable building*. Oxfordshire: Routledge, 2014. 328 p.

LATORRACA, J. V. *Eucalyptus spp. na produção de painéis de cimento-madeira*. PhD thesis, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

LESKO, J. *Design Industrial: materiais e processos de fabricação*. São Paulo: E. Blücher, 2004.

LI, X. *Physical, chemical, and mechanical properties of bamboo and its utilization potential for fiberboard manufacturing*. Dissertation, The School of Renewable Natural Resources, Louisiana, 2004. 76 p.

LIMA, M. D. *Influência de três tipos de tratamentos físicos na resistência à compressão de compósitos cimento-madeira à base de resíduos de serraria*. Tese de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

LONDOÑO, X.; CLARK, L. G. Distribucion, morfologia, taxonomia, anatomia, silvicultura y usos de los bambues del nuevo mundo. *III Congreso Colombiano de Botánica*. Bogotá: [s.n.]. 2004.

LOSBERGER RDS. Products: Lightweight inflatable frame tent TAG L, 2013. Disponível em: < <http://www.losberger-rds.com/en/product/lightweight-inflatable-frame-tent-tag-l.html> > Acesso em: 25 de Maio de 2020.

LYNCH, P. ArchDaily Brasil: Better Shelter, da IKEA, recebe prêmio de "Design of the Year 2016", 2017. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/804366/better-shelter-da-ikea-recebe-premio-de-design-of-the-year-2016>. Acesso em: 25 de Maio de 2020.

MARÇAL, V. H. S. *Análise comparativa de normas técnicas internacionais para o emprego do bambu - colmo em estruturas prediais*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação – Curso de mestrado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 2018.

MARINHO, A. C. *Abrigo desmontável para emergências ambientais utilizando painel-sanduiche de Bambu*. Tese de Mestrado submetida à Pontifícia Universidade Católica – Rio. Rio de Janeiro, 2013.

MARRA, R.; ALVES, J. Escola de bambu no meio da selva atrai alunos estrangeiros a Bali. *Folha de São Paulo*, 2018. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2018/08/escola-de-bambu-no-meio-da-selva-atrai-alunos-estrangeiros-a-bali.shtml>>. Acesso em: 20 de Set. de 2019.

MICHAELIS, Dicionário. Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa, 2020. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/abrigo/>>. Acesso em 24 de Jun. de 2020.

NEUFERT, E. *Arte de projetar em arquitetura*. São Paulo: Gustavo Gili, 2013.

NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: NEC - ESTRUCTURAS DE GUADÚA (GAK). Equador, 2017.

NUNES, E. F.; AGUIAR, V. Z.; LIMA, A. P. A. S., DE ABREU, S. M. B. M.; REZENDE, E. J. C. Abrigos para situação de emergência. *Estudos em Design*, v. 26, n. 2, 2018.

OLIVER, P. *Dwellings: The Vernacular House World Wide*. Phaidon Press Limited. ISBN 978-0-7148-4793-1, 2003. 288 p.

ORGANIZAÇÃO DA NAÇÕES UNIDAS. ACNUR: número de pessoas deslocadas chega a 68,5 milhões em 2017, 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acnur-numero-de-pessoas-deslocadas-chega-a-685-milhoes-em-2017/>>. Acesso em: 27 de Mar. de 2019.

PADOVAN, R. B. *O bambu na arquitetura: design de conexões estruturais*. Dissertação de mestrado. UNESP. Bauru, 2010. 183p.

PAULETTI, R. M. O. *História, Análise e Projeto de Estruturas Retesadas*. Tese de concurso para livre docência, Departamento de Estruturas e Fundações.USP, 2003.

PEREIRA, M. A. R. *Projeto Bambu: Introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações*, 2012.

- PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. *Bambu de Corpo e Alma*. Canal 6, 2007
- PFEIL, W.; PFEIL, M. *Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático*. Grupo Gen-LTC, 2000.
- PIMENTEL, L. L. *Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de Pinus caribaea*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- PINTO, M. *Inflência da temperatura e de tratamentos alcalinos na remoção dos extrativos solúveis da biomassa de madeira e seus efeitos na hidratação de pastas de cimento e bioconcretos*. Dissertação de Mestrado. UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, 2019.
- RANGEL, C. S. *Desempenho Mecânico, Estrutural e Durabilidade de Concretos de Resistência Normal e Alta Resistência Produzidos com Agregados Reciclados de Diferentes Origens*. UFRJ-COPPE, Rio de Janeiro, 2019.
- REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES: NORMA NTE E.100 BAMBÚ. Peru, 2012.
- REMPEL, J. *Projeto de abrigo emergencial com materiais alternativos*. Trabalho de Conclusão do Curso de Design. Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajeado, 2018.
- RIBEIRO, L. H. M. S. et al. Influence of section and moisture content on the tensile strength parallel to fibers of bamboo culms woody material. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 49, 2019.
- RIBEIRO, U. M. *Desempenho térmico, acústico e mecânico de compósitos cimentícios produzidos com resíduos da indústria madeireira de porto velho*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Amazonas, 2016.

RILEM, L. Functional classification of lightweight concrete. *Materials and Structures*, 5:173–175, 1978.

RONQUIM, R. M. *et al.* Physical and mechanical properties of wood-cement composite with lignocellulosic grading waste variation. *International journal of composite materials*, v. 4, n. 2, p. 69-72, 2014.

SAIEH, N. ArchDaily: Soe Ker Tie House / TYIN Tegnestue, 2009. Disponível em: < <https://www.archdaily.com/25748/soe-ker-tie-house-tyin-tegnestue>>. Acesso em: 25 de Maio de 2020.

SANTOS, D., DA GLORIA, M., ANDREOLA, V., PEPE, M., AND TOLEDO FILHO, R. Compressive stress strain behavior of workable bioconcretes produced using bamboo, rice husk and wood shavings particles. *2nd International Conference on Bio-based Building Materials and 1st Conference on ECOlogical valorisation of GRAnular and FIBrous materials*, Clermont-Ferrand, France, 2017.

SHIGERU BAN ARCHITECTS, 2000. Paper Log House - Turkey, 2000 / Bhuj, India, 2001. Disponível em: < http://www.shigerubanarchitects.com/works/2000_paper-log-house-turkey/index.html>. Acesso em: 20 de Maio de 2020.

SOUZA, A. A. C. *Utilização de resíduos da indústria madeireira para fabricação de chapas cimento-madeira*. Universidade Federal do Pará. Belém. 2006.

TED. Ted Talks: Shigeru Ban - Abrigos de emergência feitos de papel [Filme-vídeo]. Tradução de Leonardo Silva, revisão de Nadja Nathan, 2013. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=q43uXdOKPD8>>. Acesso em: 25 de Fev. de 2020.

TERRA, G. R. A. Aspectos da história de vida de *Guadua tagoara* (Nees) Kunth (Poaceae: Bambuseae) na Serra dos Órgãos, RJ. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2007.

THOMAZ, P. M.D.; SILVA, E. F.; COSTA, T. H. M. Validade de peso, altura e índice de massa corporal autorreferidos na população adulta de Brasília. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 16, n. 1, p. 157-169, 2013.

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

TITTELEIN, P.; CLOUTIER, A.; BISSONNETTE, B. Design of a low-density wood–cement particleboard for interior wall finish. *Cement and concrete composites*, v. 34, n. 2, p. 218-222, 2012.

VERSCHLEISSER, R. *Aplicação de Estruturas de Bambu no Design de Objetos. Como Construir Objetos Leves, Resistentes, Ecológicos, e de Baixo Custo*. Tese de doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes e Design, 2008.

VIETNAM INVESTMENT REVIEW. Vietnamese bamboo house highly commended in WAN Awards. Vietnam Investment Review, 2014. Disponível em: <<https://www.vir.com.vn/vietnamese-bamboo-house-highly-commended-in-wan-awards-30949.html>>. Acesso em: 13 de Março de 2020.

VILLEGAS, M. *Guadua: Arquitectura y diseño*. Bogotá: Villegas Editores, 2005.

WAKCHAURE, M. R.; KUTE, S. Y. *Effect of moisture content on physical and mechanical properties of bamboo*, 2012.

WOLFE, R. G. A. *International Wood Engineering Conference*. Assessment of cement - bonded wood composites as means of using low-valued wood for engineered applications. [S.l.]: [s.n.]. 2006. p. 74-81.

WOLFE, R. W.; G. A. Durability and strength of cement-bonded wood particle composites made from construction waste. *Forest Products Journal*, v. 49, p. 24-31, 1999.

WOLFE, R. W.; GJINOLLI, A. Durability and strength of cement-bonded wood particle composites made from construction waste. *Forest Products Journal*, v. 49, p. 24-31, 1999.

XIAOBO, L. B.S. Beijing Forestry University, 1999 M.S. *Chinese Academy of Forestry*, 2004.

XU, Q. et al. *Mechanical properties of structural bamboo following immersion in water. Engineering Structures*, v. 81, p. 230-239, 2014.

Anexos

A tabela abaixo apresenta os valores do comprimento, do diâmetro externo médio da parede na parte de baixo do corpo de prova (D_A), do diâmetro externo médio da parede na parte de cima do corpo de prova (D_B), da espessura média da parede na parte de baixo do corpo de prova (t_A), da espessura média da parede na parte de cima do corpo de prova (t_B), da carga máxima ($P_{máx}$), da resistência à compressão (F_{C0}) e do módulo de elasticidades (E) de cada corpo de prova do ensaio de resistência à compressão do colmo.

Corpo de prova	Comprimento (mm)	D_A (mm)	D_B (mm)	t_A (mm)	t_B (mm)	$P_{máx}$ (kN)	F_{C0} (MPa)	E (GPa)
01	740	80,25	76,78	9,50	7,38	81,51	50,71	14,43
02	803	86,20	82,88	10,38	9,07	96,85	46,07	12,89
03	789	79,05	74,25	9,10	7,74	70,18	43,41	15,05
04	740	83,05	79,92	8,78	7,87	85,33	47,92	14,68
05	787	78,97	70,69	7,74	6,94	74,07	53,34	15,60