

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

GIULIA BARBOSA DA LUZ

**PROJETO DE UMA HABITAÇÃO EM BAMBU COM DIMENSIONAMENTO
DA COBERTURA PARA O MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS**

FLORIANÓPOLIS, 2022.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

GIULIA BARBOSA DA LUZ

**PROJETO DE UMA HABITAÇÃO EM BAMBU COM DIMENSIONAMENTO
DA COBERTURA PARA O MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora:
Prof^a. Luciana da Rosa Espíndola, Doutora

FLORIANÓPOLIS, 2022.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Luz, Giulia Barbosa da
PROJETO DE UMA HABITAÇÃO EM BAMBU COM DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA PARA O MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS / Giulia Barbosa da Luz; orientação de Luciana Da Rosa Espíndola.
- Florianópolis, SC, 2023.
141 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Projeto. 2. Bambu. 3. Habitação. 4. Dimensionamento. 5. Cobertura. I. Da Rosa Espíndola, Luciana. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. PROJETO DE UMA HABITAÇÃO EM BAMBU COM DIMENSIONAMENTO DA COBERTURA PARA O MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS.


**PROJETO DE UMA HABITAÇÃO EM BAMBU COM DIMENSIONAMENTO DA
COBERTURA PARA O MUNICÍPIO DE FLORIANÓPOLIS**

GIULIA BARBOSA DA LUZ


Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Civil em 19/12/2022 e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 19 de dezembro, 2022.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 LUCIANA DA ROSA ESPINDOLA
Data: 02/02/2023 09:15:30-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>


Prof^a Luciana da Rosa Espíndola, Doutora

Documento assinado digitalmente
 ANA LIGIA PAPST DE ABREU
Data: 02/02/2023 09:53:10-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof^a Ana Lígia Papst de Abreu, Doutora
IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina



Prof Fernando Toppan Rabello, Doutor
IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 SERGIO PARIZOTTO FILHO
Data: 06/02/2023 11:18:54-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof Sérgio Parizotto Filho, Mestre
IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, João Batista Pereira da Luz e Elenara Rosana Aquino Barbosa, e à minha irmã, Giovanna Barbosa da Luz, pelo amor, paciência, incentivo, dedicação, auxílio e por sempre estarem ao meu lado. Obrigada por me acompanhar em todas essas conquistas e em todas que virão.

Aos meus professores no decorrer do curso, por me ensinar e orientar profissionalmente. Agradeço especialmente à minha orientadora, Luciana da Rosa Espíndola, por me guiar, apoiar e ajudar durante este trabalho.

Aos demais familiares, colegas e amigos também agradeço por me ajudarem e estarem comigo.

RESUMO

A indústria mundial da construção civil, durante todo o seu processo, causa diversos danos e impactos ao meio ambiente. Isso se deve em parte ao demasiado uso de materiais convencionais não renováveis e aos resíduos gerados ao longo do seu ciclo de vida. Tendo em vista esses fatores, soluções com materiais sustentáveis estão sendo cada vez mais exploradas. O bambu pode ser um ótimo material para a construção de habitações, porém no Brasil não existem muitas informações sobre o uso deste em residências. Então, a fim de comprovar sua resistência, confiabilidade e funcionalidade como material de edificações, o tema deste trabalho é construção com bambu. O principal objetivo deste estudo é desenvolver o projeto de uma habitação térrea utilizando uma estrutura de bambu localizada no município de Florianópolis, Santa Catarina e dimensionar a sua cobertura. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de melhorar a compreensão sobre as características mecânicas, físicas e anatômicas do bambu e sobre suas aplicações nos subsistemas de construções. Na sequência, foi criado um programa de necessidades, com base nas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) sobre o material, no Plano Diretor e no Código de Obras do município para a elaboração do *layout* da habitação. A partir disso, o projeto foi modelado nos *softwares* Revit e AutoCAD. Depois, uma coleta de dados com projetistas e construtores locais foi feita para a seleção das espécies e a espécie *Dendrocalamus asper* foi escolhida. Para a habitação, foram definidos: subsistema estrutural do tipo pilar-viga com colmos de bambu e bambu laminado contraplacado para as lajes; painéis com a ossatura em bambu laminado colado, placa de gesso acartonado, taliscas de bambu, placa cimentícia e chapa de OSB de bambu para a vedação; e as telhas cerâmicas juntamente com a estrutura de bambu laminado colado para cobertura. E, por fim, o dimensionamento dos componentes da cobertura foi realizado por meio das normas de madeira e bambu. Todos esses processos foram fundamentais para a obtenção do resultado final: um projeto arquitetônico de uma residência em bambu com o dimensionamento da sua cobertura.

Palavras-chave: Projeto. Bambu. Habitação. Dimensionamento. Cobertura.

ABSTRACT

The global civil construction industry, throughout its process, causes several damages and impacts to the environment. This is partly due to the excessive use of conventional non-renewable materials and the waste generated over the course of their life cycle. In view of these factors, solutions with sustainable materials are being increasingly explored. Bamboo can be a great material for building houses, but in Brazil there is not much information about its use in residences. So, in order to prove its resistance, reliability and functionality as a building material, the subject of this work is construction utilizing bamboo. The main purpose of this study is to develop a project of a single storey house using a bamboo structure located in the city of Florianópolis, Santa Catarina and to dimension its roofing. To this end, a bibliographic review was carried out in order to improve the understanding of the mechanical, physical and anatomical characteristics of bamboo and its applications in construction subsystems. Following it, a requirements program was created, based on the ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) norms on the material, the Master Plan and the Municipal Works Code for the elaboration of the housing layout. From this, the project was modeled in Revit and in AutoCAD softwares. Then, a data collection with engineers and local builders was made for the selection of species and the species *Dendrocalamus asper* was chosen. For the building, the following were defined: structural subsystem of the pillar-beam type with bamboo culms and plybamboo for the slabs; panels with a glued laminated bamboo frame, plasterboard, bamboo slats, cement board and bamboo OSB sheet for the fence; and the ceramic tiles together with the glued laminated bamboo structure for the roofing. And, finally, the structural designing of roofing components was carried out using wood and bamboo standards. All these processes were fundamental to obtain the final result: an architectural project of a bamboo residence with the structural designing of its roof.

Keywords: Project. Bamboo. Building. Structural design. Roof.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração da estrutura de bambu na abóboda do Taj Mahal	16
Figura 2 – Partes do bambu	25
Figura 3 – Partes do colmo	25
Figura 4 – Habitação com colmos de bambu	31
Figura 5 – Telhado com colmos de bambu	31
Figura 6 – Derivações do bambu	31
Figura 7 – Painel OSB.....	31
Figura 8 – Trama feita com ripas de bambu.....	32
Figura 9 – Taliscas aplainadas e usinadas	32
Figura 10 – Pilar-viga em BLC	32
Figura 11 - Construção com BLC na China.....	32
Figura 12 – Diagrama da composição do bambu laminado colado.....	33
Figura 13 – Piso com colmos	34
Figura 14 – Piso misto em bambu e concreto	34
Figura 15 - Piso estruturado com vigas, barrotes e chapas OSB.....	34
Figura 16 - Piso de bambu laminado.....	35
Figura 17 - Escadas em bambu	35
Figura 18 - Vigas em bambu com quatro colmos	35
Figura 19 - Pilar em bambu com dois e quatro colmos	36
Figura 20 – Exemplo e detalhe de ancoragem de pilares em bambu à fundação de concreto	36
Figura 21 – Ligação pilar-viga	36
Figura 22 – Detalhes do sistema <i>quincha</i>	37
Figura 23 - Construção feita com <i>quincha</i>	37
Figura 24 - <i>Bahareque</i>	37
Figura 25 - Edificação que utiliza <i>bahareque</i>	37
Figura 26 - <i>Bahareque</i> com terra	38
Figura 27 - <i>Bahareque</i> com a tela metálica.....	38
Figura 28 - Parede de bambu com argila	38
Figura 29 - “Parede japonesa”.....	39
Figura 30 - Parede feita com esteiras de bambu.....	39
Figura 31 - Estrutura de um telhado.....	40

Figura 32 – Detalhes dos nós e das ligações entre as peças	40
Figura 33 - Detalhe de um telhado em bambu	40
Figura 34 - Localização do terreno em Florianópolis.....	45
Figura 35 – Localização do terreno	45
Figura 36 – Dimensões do terreno	45
Figura 37 - Zoneamento primário do terreno.....	46
Figura 38 - Fluxograma do dimensionamento dos componentes da cobertura.....	49
Figura 39 - Fluxograma dimensionamento da cobertura.....	65
Figura 40 - Diagrama de interação dos ambientes.....	67
Figura 41 - <i>Layout</i> da casa.....	68
Figura 42 – Fachada frontal da habitação.....	69
Figura 43 – Fachada dos fundos da edificação.....	70
Figura 44 – Volumetria da frente	70
Figura 45 – Volumetria dos fundos.....	70
Figura 46 - Pilar selecionado.....	71
Figura 47 - Viga selecionada.....	71
Figura 48 - Localização das paredes de vedação.....	72
Figura 49 – Vedação com as taliscas de bambu e o gesso st.....	72
Figura 50 – Vedação com placa cimentícia e gesso ru.....	73
Figura 51 - Vedação com placa cimentícia e gesso st.....	73
Figura 52 - Vedação com placa cimentícia e taliscas de bambu.....	73
Figura 53 - Vedação com gesso st e gesso ru	74
Figura 54 - Vedação com gesso st em ambos os lados.....	74
Figura 55 - Vedação com gesso ru em ambos os lados	74
Figura 56 - Componentes da cobertura.....	75
Figura 57 - Corte da cobertura destacando as 04 águas da cobertura	75
Figura 58 - Planta da cobertura da habitação com as posições das meia treliças	76
Figura 59 - Dimensões da Meia Treliça 1 (MT1)	77
Figura 60 - Distâncias entre as ripas e terças para a meia treliça 1.....	78
Figura 61 - Distâncias entre os caibros	78
Figura 62 - Coeficientes cpe no <i>software</i> Visual Ventos	80
Figura 63 - Coeficientes cpe médio no <i>software</i> Visual Ventos.....	80
Figura 64 - Coeficientes cpi do Vento de 0° no <i>software</i> Visual Ventos.....	81

Figura 65 - Coeficientes c_{pi} do Vento de 90° no <i>software</i> Visual Ventos	81
Figura 66 - Esforços resultantes do Vento de 0° no <i>software</i> Visual Ventos	81
Figura 67 - Esforços resultantes do Vento de 90° no <i>software</i> Visual Ventos	81
Figura 68 - Área de influência da meia treliça 1	93
Figura 69 - Esforços normais gerados pela carga permanente no <i>software</i> <i>Ftool</i>	94
Figura 70 - Esforços normais gerados pela carga acidental de 1 kN no <i>software</i> <i>Ftool</i>	95
Figura 71 - Esforços normais gerados pela carga acidental da sobrecarga no <i>software</i> <i>Ftool</i>	95
Figura 72 - Detalhe dos cortes	111
Figura 73 – Outros tipos de corte	111
Figura 74 – Ligação longitudinal de peças de bambu com chapas metálicas	111
Figura 75 – Ligação longitudinal de duas peças com dois pedaços de bambu.....	112
Figura 76 – Ligações perpendicular e diagonal	112
Figura 77 – Ligação diagonal com bambu de apoio	113
Figura 78 – Ligação com ganchos e parafusos	113
Figura 79 – Ligação com abraçadeiras metálicas	113
Figura 80 – Uniões cintadas e amarradas.....	114
Figura 81 – Ligações amarradas.....	114
Figura 82 – Ligação com tarugo	114
Figura 83 – Ligação com peça roliça de madeira	115
Figura 84 – Ligação com luvas.....	115
Figura 85 – Preenchimento de entrenó com argamassa.....	116
Figura 86 - Dimensões da Meia Treliza 2 (MT2)	119
Figura 87 - Esforços normais gerados pela carga permanente no <i>software</i> <i>Ftool</i> ..	125
Figura 88 - Esforços normais gerados pela carga acidental da sobrecarga no <i>software</i> <i>Ftool</i>	125
Figura 89 - Dimensões da Meia Treliza 3 (MT3)	127
Figura 90 - Esforços normais gerados pela carga permanente no <i>software</i> <i>Ftool</i> ..	133
Figura 91 - Esforços normais gerados pela carga acidental da sobrecarga no <i>software</i> <i>Ftool</i>	133
Figura 92 - Dimensões da Meia Treliza 4 (MT4)	134
Figura 93 - Esforços normais gerados pela carga permanente no <i>software</i> <i>Ftool</i> ..	140

Figura 94 - Esforços normais gerados pela carga acidental da sobrecarga no *software*

Ftool 141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade.....	28
Tabela 2 – Resultados de ensaios de resistência à compressão paralela às fibras..	29
Tabela 3 – Resultados dos ensaios de resistência à tração paralela às fibras	30
Tabela 4 – Taxas de Ocupação	46
Tabela 5 – Fórmulas para as resistências características do bambu.....	50
Tabela 6 – Coeficientes de minoração das resistências características do bambu...	51
Tabela 7 - Dimensões adotadas.....	69
Tabela 8 – Dimensões dos componentes estruturais da cobertura.....	77
Tabela 9 – Os valores adotados para o k_{mod}	78
Tabela 10 – Valores para calcular a resistência à compressão de cálculo	79
Tabela 11 - Resistências características do bambu	79
Tabela 12 - Características da seção transversal das ripas	82
Tabela 13 - Carga permanente das ripas	82
Tabela 14 - Cargas nas ripas	83
Tabela 15 - Momentos fletores e tensões devido à flexão nas ripas.....	83
Tabela 16 - Força cortante e tensão máxima de cisalhamento nas ripas	84
Tabela 17 - Flechas máximas para as ripas.....	84
Tabela 18 - Flechas instantâneas das ripas para a direção x	84
Tabela 19 - Flechas instantâneas das ripas para a direção y	85
Tabela 20 - Características da seção transversal dos caibros	85
Tabela 21 - Carga permanente dos caibros	86
Tabela 22 - Esforços resultantes da carga acidental de sobrecarga.....	86
Tabela 23 - Esforços resultantes da carga acidental concentrada	86
Tabela 24 - Esforços resultantes da carga permanente.....	87
Tabela 25 - Esforços resultantes de cálculo dos caibros	87
Tabela 26 - Valores dos coeficientes de estabilidade dos caibros	88
Tabela 27 - Flechas admissíveis dos caibros.....	88
Tabela 28 - Flechas dos caibros na direção x.....	88
Tabela 29 - Flechas dos caibros na direção y	89
Tabela 30 - Características da seção transversal das terças	89
Tabela 31 - Carga permanente das terças	90
Tabela 32 - Esforços resultantes da sobrecarga nas terças	90

Tabela 33 - Esforços resultantes da carga concentrada nas terças.....	90
Tabela 34 - Esforços resultantes da carga permanente nas terças	91
Tabela 35 - Esforços resultantes de cálculo das terças	91
Tabela 36 - Esforços resultantes de cálculo das terças	91
Tabela 37 - Flechas admissíveis das terças.....	92
Tabela 38 - Flechas das terças na direção x.....	92
Tabela 39 - Flechas das terças na direção y.....	92
Tabela 40 - Características da seção transversal das treliças	93
Tabela 41 – Carga permanente da meia treliça 1	94
Tabela 42 - Esforços normais na meia treliça 1	95
Tabela 43 - Verificação de estabilidade das barras comprimidas na MT1	96
Tabela 44 - Carga permanente dos caibros da MT2	119
Tabela 45 - Esforços resultantes da carga acidental concentrada da MT2.....	120
Tabela 46 - Esforços resultantes da carga permanente da MT2.....	120
Tabela 47 - Esforços resultantes de cálculo dos caibros da MT2	120
Tabela 48 - Verificações da borda comprimida e tracionada da MT2	120
Tabela 49 - Valores dos coeficientes de estabilidade da MT2	121
Tabela 50 - Verificações de estabilidade MT2.....	121
Tabela 51 - Flechas admissíveis para a meia treliça 2.....	121
Tabela 52 - Flechas dos caibros na direção x da meia treliça 2.....	121
Tabela 53 - Flechas dos caibros na direção y da meia treliça 2.....	122
Tabela 54 - Carga permanente das terças da MT2.....	122
Tabela 55 - Esforços resultantes da carga concentrada nas terças da MT2.....	122
Tabela 56 - Esforços resultantes da carga permanente nas terças da MT2	122
Tabela 57 - Esforços resultantes de cálculo das terças da MT2	123
Tabela 58 - Verificações da borda comprimida e tracionada das terças da MT2....	123
Tabela 59 - Esforços resultantes de cálculo das terças da MT2	123
Tabela 60 - Flechas admissíveis das terças da MT2	123
Tabela 61 - Flechas das terças na direção x para a meia treliça 2	124
Tabela 62 - Flechas das terças na direção y para a meia treliça 2	124
Tabela 63 - Carga permanente da meia treliça 2	124
Tabela 64 - Esforços normais na meia treliça 2	126
Tabela 65 - Verificação de estabilidade das barras comprimidas na MT2	126

Tabela 66 - Carga permanente dos caibros da MT3	127
Tabela 67 - Esforços resultantes da carga acidental concentrada dos caibros da meia treliça 3	128
Tabela 68 - Esforços resultantes da carga permanente dos caibros da MT3	128
Tabela 69 - Esforços resultantes de cálculo dos caibros da meia treliça 3	128
Tabela 70 - Verificações da borda comprimida e tracionada dos caibros da MT3 ..	128
Tabela 71 - Valores dos coeficientes de estabilidade da MT3	129
Tabela 72 - Verificações de estabilidade da MT3.....	129
Tabela 73 - Flechas admissíveis para os caibros da meia treliça 3	129
Tabela 74 - Flechas dos caibros na direção x da meia treliça 3.....	129
Tabela 75 - Flechas dos caibros na direção y da meia treliça 3.....	129
Tabela 76 - Carga permanente das terças da MT3.....	130
Tabela 77 - Esforços resultantes da carga permanente nas terças da MT3	130
Tabela 78 - Esforços resultantes da carga concentrada nas terças da MT3.....	130
Tabela 79 - Esforços resultantes de cálculo das terças da MT3	130
Tabela 80 - Verificações da borda comprimida e tracionada das terças da MT3....	131
Tabela 81 - Esforços resultantes de cálculo das terças da meia treliça 3	131
Tabela 82 - Flechas admissíveis das terças para a meia treliça 3	131
Tabela 83 - Flechas das terças na direção x para a meia treliça 3	131
Tabela 84 - Flechas das terças na direção y para a meia treliça 3	131
Tabela 85 - Carga permanente da meia treliça 3	132
Tabela 86 - Esforços normais na meia treliça 3	133
Tabela 87 - Verificação de estabilidade das barras comprimidas na MT3	134
Tabela 88 - Carga permanente dos caibros da MT4	135
Tabela 89 - Esforços resultantes da carga acidental concentrada dos caibros da meia treliça 4	135
Tabela 90 - Esforços resultantes da carga permanente dos caibros da MT4	135
Tabela 91 - Esforços resultantes de cálculo dos caibros da MT4	135
Tabela 92 - Verificações da borda comprimida e tracionada dos caibros da MT4 ..	136
Tabela 93 - Valores dos coeficientes de estabilidade da MT4	136
Tabela 94 - Verificações de estabilidade da MT4.....	136
Tabela 95 - Flechas admissíveis para os caibros da meia treliça 4	137
Tabela 96 - Flechas dos caibros na direção x da meia treliça 4.....	137

Tabela 97 - Flechas dos caibros na direção y da meia treliça 4.....	137
Tabela 98 - Carga permanente das terças da meia treliça 4.....	137
Tabela 99 - Esforços resultantes da carga permanente nas terças da MT4	137
Tabela 100 - Esforços resultantes da carga concentrada nas terças da MT4.....	138
Tabela 101 - Esforços resultantes de cálculo das terças da MT4	138
Tabela 102 - Verificações da borda comprimida e tracionada das terças da MT4 ..	138
Tabela 103 - Esforços resultantes de cálculo das terças da meia treliça 4	138
Tabela 104 - Flechas admissíveis das terças para a meia treliça 4	139
Tabela 105 - Flechas das terças na direção x para a meia treliça 4	139
Tabela 106 - Flechas das terças na direção y para a meia treliça 4	139
Tabela 107 - Carga permanente da meia treliça 4	140
Tabela 108 - Esforços normais na meia treliça 4	141
Tabela 109 - Verificação de estabilidade das barras comprimidas na MT4	141

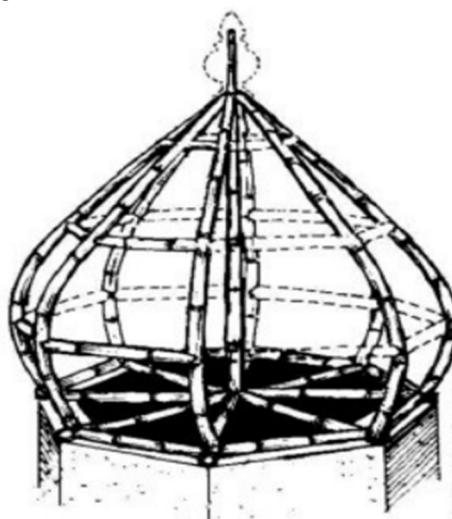
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa	18
1.2	Definição do Problema	21
1.3	Objetivo Geral	21
1.4	Objetivos Específicos	21
1.5	Estrutura do Trabalho	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1	Classificação botânica do bambu	23
2.2	Anatomia do bambu	24
2.3	Propriedades físicas e mecânicas do bambu	27
2.4	Bambu na construção de edificações	30
2.4.1	Produtos em bambu para a construção civil	31
2.4.2	Elementos em bambu para a construção civil.....	33
2.4.3	Normas e regulamentos técnicos para construções em bambu.....	41
3	METODOLOGIA	43
3.1	Desenvolvimento do projeto da habitação em bambu	45
3.2	Seleção dos subsistemas	48
3.3	Etapas do dimensionamento da cobertura	49
3.3.1	Cálculo para as resistências do bambu	49
3.3.2	Cálculo das cargas permanentes.....	51
3.3.3	Cálculo das cargas acidentais de vento.....	53
3.3.4	Cálculo das cargas acidentais de sobrecarga.....	54
3.3.5	Combinação de ações	56
3.3.6	Verificações dos ELU e ELS	56
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	66
4.1	Projeto	66
4.2	Subsistemas e componentes da habitação	70
4.3	Detalhamento e dimensionamento da cobertura da habitação	77
4.3.1	Resistências de cálculo do bambu <i>Dendrocalamus asper</i>	78
4.3.2	Carga acidental do vento	79
4.3.3	Dimensionamento das ripas.....	82
4.3.4	Dimensionamento dos caibros.....	85
4.3.5	Dimensionamento das terças.....	89
4.3.6	Dimensionamento da meia treliça 1	92
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	99
	APÊNDICES	109
	APÊNDICE A – Possíveis discrepâncias entre os resultados dos ensaios de caracterização do bambu.....	109
	APÊNDICE B – Ligações e conexões entre peças roliças com colmos de bambu.....	111
	APÊNDICE C – Questionário.....	117
	APÊNDICE D – Dimensionamento das demais treliças.....	119

1 INTRODUÇÃO

Estudos arqueológicos indicam que o bambu vem sendo utilizado em construções, ferramentas e utensílios há cerca de 5 mil anos (ARRUDA; LIBRELOTTO; FERROLI, 2017). O povo nômade denominado Vedas, que vivia na Índia, é considerado um dos pioneiros na utilização do bambu em construções. Inicialmente, eles construíam cercas de bambu para proteger-se dos ataques de animais e de saqueadores. Posteriormente, aplicavam o material à construção de casas. Os Vedas influenciaram as culturas budistas e árabes principalmente na construção de abóbadas, como na do Taj Mahal, localizado na Índia, construído no século XVII como ilustra a Figura 1 (LÓPEZ, 1974; 2003 *apud* TEDESCHI, 2011).

Figura 1 – Ilustração da estrutura de bambu na abóboda do Taj Mahal



Fonte: Farrelly (1984)

O bambu desenvolveu um papel importante na cultura chinesa estando presente na poesia, escrita e pintura. Inclusive, afirma-se que existia um logograma chinês denominado *chu*, com o formato de dois talos de bambu com folhas e ramos (LÓPEZ, 1974 *apud* EFFTING, 2017). Segundo Yang e Hui (2010 *apud* PEREIRA, 2012), a China foi o primeiro país a pesquisar formalmente sobre o cultivo e a utilização desse material.

Em geral, observa-se que o bambu é utilizado principalmente no continente asiático, sendo conhecido lá como “a planta dos mil usos” e “o amigo da natureza” (NUNES, 2005). Mas, além dos países orientais, nos países da América do Sul, antes da chegada dos europeus, os nativos usavam intensamente bambu em países como

Colômbia, Equador, Peru e Chile (CULZONI, 1986; LÓPEZ, 1974 *apud* XIAO; INOUE; PAUDEL, 2008). No período pré inca, há mais de dois mil anos, em algumas regiões do Peru, o bambu era utilizado para a confecção de caixões. Já os povos que viviam perto da floresta tropical localizada nos Andes, entre o Equador e o Peru, usavam o bambu para a construção de casas, arcos e flechas (INBAR, 2006).

Após o período da colonização europeia, uma técnica tradicional denominada *quincha* destacou-se por ter sido muito utilizada para as edificações no Peru (INBAR, 2006). Na Colômbia, um outro sistema construtivo foi desenvolvido, chamado de *bahareque* (AIS, 2004).

No século XIX, durante o período em que a família real portuguesa veio para o Brasil, novas espécies de bambu foram introduzidas no país através dos imigrantes japoneses e chineses (SILVA, 2008; KLEINE, 2020). Ainda no século XIX, surgiram as primeiras fábricas nacionais de celulose e papel que usavam o bambu como matéria-prima (KLEINE, 2020).

Atualmente, o material é comumente utilizado no Brasil para a produção industrial de papel, artesanato, vara de pescar, móveis, cestaria e utensílios domésticos, além de ser utilizado na construção de galinheiros, andaimes, cercas, pontes (FERREIRA, 2002 *apud* SOUZA; LEÃO; QUARESMA, 2020; PEREIRA, 2001 *apud* NUNES, 2005; TEDESCHI, 2011).

Desde meados da década de 1970, observa-se que pesquisas científicas têm abordado a aplicação do bambu na construção civil brasileira, analisando principalmente as propriedades físico e mecânicas deste material, como o Dr. Khosrow Ghavami (DELGADO, 2011). Outros, avaliam e sugerem métodos de conexões e ligações entre colmos para estruturas de bambu, como o Me. Roberto B. Padovan. Há também importantes estudos que atestam a durabilidade do material com a aplicação de diferentes métodos preservativos, como o Dr. Antônio L. Beraldo (ERENO, 2010 *apud* TEDESCHI, 2011), e alguns elaboraram experimentos práticos de construção como os realizados pelo Projeto Bambu da UNESP fundado pelo Dr. Marco A. dos R. Pereira.

Esses estudos são significativos para a compreensão do material. Entretanto, observa-se que, na prática popular, o bambu ainda é conhecido como um material utilizado em construções para pessoas de baixa renda ou para construções

temporárias. São raros os registros de construções de habitações brasileiras estruturadas com bambu.

Enquanto isso, em outros países, as tecnologias do bambu para a construção civil vêm sendo mais desenvolvidas. Essa transformação tecnológica tem sido altamente influenciada por sistemas estruturados em madeira, como o *wood frame* e por outros produtos, como os painéis em madeira do início do século XX. Como resultado, na década de 1980, a indústria do bambu produziu com sucesso diferentes tipos de painéis compostos, levando à diversas aplicações para a arquitetura e a engenharia. Atualmente, além de ser aplicado na forma natural roliça do colmo, os produtos com bambu podem ser compostos por partículas, tiras, fibras, colmos planificados e materiais compósitos (HUANG, 2019).

Assim, para explorar essas possibilidades da aplicação do bambu na construção de edificações, este trabalho selecionou o tema: sistemas estruturados em bambu para habitações. A contribuição deste trabalho é ampliar os estudos técnicos nesta área para que mais projetos sejam elaborados e construídos no Brasil conforme as especificidades do material e do local onde será inserido.

1.1 Justificativa

A construção civil é um dos setores que mais polui no mundo. Estima-se que “é responsável por mais de 50% dos recursos naturais extraídos no planeta. A quase totalidade dos materiais utilizados é não renovável” (JOHN, 2017, p. 3). Isso se deve não só por causa da extração de matéria prima e da execução, mas também pela produção e transporte de materiais e componentes, práticas de uso e manutenção, demolição e resíduos gerados ao longo da vida útil da construção (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Historicamente, a construção civil no Brasil utiliza amplamente matéria prima não renovável e consome elevadas quantidades de energia no transporte e processamento de insumos (ROTH; GARCIAS, 2011). Como consequência dessas explorações, percebe-se os aumentos das chuvas, do calor, dos incêndios, da devastação florestal e vegetal, da poluição das águas e do ar, da erosão do solo, e da perda de espécies animais (XIAO; INOUE; PAUDEL, 2008; LARUCCIA, 2014).

O ciclo de vida das habitações, desde a produção dos componentes constituintes até a disposição final da edificação e dos seus materiais, tem gerado impactos como o consumo energético e a decorrente emissão de gases do efeito estufa, sendo o CO₂ o principal destes. Segundo o Observatório do Clima (2020), somente em 2019, o Brasil lançou 2,17 bilhões de toneladas brutas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e). Em 2010, o país era considerado o quarto maior emissor de gases de efeito estufa do planeta (PADOVAN, 2010). Um dos fatores que contribui para isso é a alta demanda dos materiais utilizados na construção civil, como madeira, aço, concreto, cimento, agregados e energéticos (JOHN, 2017, p. 4).

Em 2021, a Associação Brasileira de Cimento Portland afirmou que a indústria do cimento produziu cerca de 6% das emissões de gases de efeito estufa no país, e sua cadeia produtiva gerou cerca de 7% das emissões de CO₂ do total das emissões produzidas no mundo. Nesse mesmo período, a indústria do aço emitiu aproximadamente 4% do total das emissões no Brasil, segundo a 4ª Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (2020 *apud* INSTITUTO DO AÇO, 2021).

Portanto, a construção civil necessita aplicar técnicas e materiais pensados para diminuir e reverter os danos ambientais que tem causado (REUBENS, 2010). Então a busca por materiais renováveis e fontes energéticas não convencionais está crescendo nas últimas décadas (SALEME; VIRUEL, 1995 *apud* PEREIRA, 2012).

Diversas conferências mundiais têm sido realizadas para discorrer sobre os problemas relacionados ao meio ambiente. A publicação da *Agenda 21 for Sustainable Construction* (CIB, 1999) é um resultado importante destas conferências. Embora ela tenha sido realizada há mais de vinte anos, continua muito relevante nas observações à construção civil, apontando a necessidade de utilizar materiais menos tóxicos, mais duráveis, renováveis, reciclados, reutilizáveis, com baixa energia incorporada, com mínimo de resíduo gerado (CIB, 1999).

Estas urgentes demandas da construção civil tornam o bambu uma alternativa construtiva atraente e de baixo custo, que contribui para diminuir os problemas relacionados ao meio ambiente, incluindo os recursos florestais. É um material natural, de crescimento rápido, com ótimas características físicas e muito versátil, permitindo a construção de edificações e de estruturas com diferentes funcionalidades, com usos temporários e permanentes (HUANG, 2019).

O bambu apresenta-se como uma alternativa sustentável, com potencial para equilibrar as emissões de gases de efeito estufa, visto que é considerado um sequestrador de carbono por sua absorção de CO₂ durante a fotossíntese no seu período de crescimento e pela retenção deste CO₂ durante a vida útil da edificação (REUBENS, 2010; CALDAS *et al.*, 2020). Estudos demonstram que é possível obter emissões negativas com produtos industrializados de bambu (CALDAS *et al.*, 2020). Ele também pode ser utilizado no processo de reflorestamento, na redução da geração de resíduos sólidos (PADOVAN, 2010), assim como pode ter a função de fazer o controle de erosão do solo e de proteger os taludes e mananciais (KIGOMO, 2007; BERALDO; ALEIXO, 2019).

A disponibilidade do bambu é significativa no Brasil. Em 2005, o país possuía mais de 447 mil hectares de plantações de bambu (FAO, 2007 *apud* MARINHO, 2012), apresentando a segunda maior biodiversidade desta planta no mundo (FERREIRA, 2021). Cerca de 1300 espécies são cultivadas no país, sendo 258 nativas (FILGUEIRAS; VIANA, 2017 *apud* LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

Além das questões ambientais positivas, seu custo de produção é baixo e a sua utilização vem proporcionando trabalho, renda e moradia para pessoas de baixa renda (OLIVEIRA, 2006), e seus custos de corte e transporte são relativamente baixos (BERALDO; ALEIXO, 2019). Para a construção de edificações, o bambu possui ótimas propriedades físico-mecânicas, podendo chegar a 260 MPa de resistência à tração paralela às fibras (ONU, 1972 *apud* MARÇAL, 2008) e apresentando um rendimento 3,3 vezes superior à madeira quando os materiais estão secos (BERALDO; ALEIXO, 2019).

Mesmo que o Brasil já apresente construções que demonstram o potencial do material, sua prática ainda é considerada incipiente - movida, principalmente, por projetistas e construtores engajados na causa da sustentabilidade. Para ampliar sua disseminação, é necessário ter e divulgar o conhecimento específico do material e da sua cadeia produtiva (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

Com base nestas justificativas, este trabalho visa expor os benefícios da utilização do bambu na construção de residências e os conhecimentos acerca de materiais não convencionais, pois observa-se que as informações científicas e técnicas sobre ele no Brasil ainda são recentes (LANA, 2016; FERREIRA, 2021).

Atualmente, as estruturas de bambu não integram a grade curricular obrigatória dos cursos de Engenharia Civil no país e o tema não é muito explorado no ambiente acadêmico, o que dificulta a disseminação do conhecimento sobre a sua utilização e seus potenciais entre os profissionais da área. A escassez de informações técnicas é perceptível pelo fato da primeira norma específica sobre a utilização e a caracterização do material - a NBR 16828 - ter sido publicada no ano de 2020 pela ABNT (2020b, 2020c). Portanto, academicamente, o estudo poderá ser utilizado como referência a outros estudantes e profissionais com interesse no tema.

Para a autora, a justificativa da realização do projeto é entender e conhecer o processo de utilização do bambu na construção civil, modificar percepções acerca do material em um processo que beneficia a autora, pessoalmente e profissionalmente, além de aplicar conhecimentos e experiências obtidas como estudante de Engenharia Civil no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

1.2 Definição do Problema

Considerando as vantagens do bambu como um material sustentável, disponível localmente, com ótimas propriedades mecânicas para a construção civil e tendo em vista as lacunas de informações técnicas sobre a aplicação desta planta como um material da construção civil, formulou-se o seguinte questionamento: como projetar e dimensionar uma habitação com sistemas estruturados de bambu?

1.3 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver o projeto de uma habitação com um sistema construtivo de bambu para o município de Florianópolis, Santa Catarina, e dimensionar sua estrutura de cobertura.

1.4 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- a) desenvolver o projeto arquitetônico da habitação;
- b) selecionar os subsistemas construtivos que compõem a edificação;
- c) dimensionar a estrutura da cobertura.

1.5 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é composto por diversos capítulos, sendo que o inicial introduz o trabalho, justificando-o e apresentando os objetivos formulados. No segundo capítulo são expostas as principais características sobre o material, como as propriedades físico-mecânicas e aplicações em habitações na construção civil. Em seguida, a metodologia utilizada para realizá-lo é descrita e, no capítulo quatro, são apresentados os resultados encontrados e as análises que se pode fazer a partir deles. Depois, as considerações finais do trabalho são explanadas. No último capítulo são apontadas as referências que foram utilizadas que possibilitaram a realização do trabalho. E, por fim, são apresentados os apêndices e anexos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Desenvolve-se neste capítulo a revisão bibliográfica com os principais conceitos e informações necessárias, como a caracterização do bambu e as suas possibilidades de utilização, para a aplicação do bambu no projeto da habitação - objeto deste trabalho.

2.1 Classificação botânica do bambu

No Reino Vegetal (*Plantae*) existem diversas classificações, entre elas, a divisão entre gimnospermas e angiospermas. As gimnospermas são plantas que não possuem frutos, incluem as madeiras coníferas e são conhecidas como *softwood*; e as angiospermas possuem frutos que estão protegidos por sementes. Estas últimas podem ser subdivididas em: monocotiledôneas, que possuem apenas um cotilédone existente em sua semente, como o bambu; e dicotiledôneas, que possuem dois cotilédones e incluem as madeiras denominadas *hardwoods* (HUANG, 2019; SZÜCS *et al.*, 2016).

O bambu pertence à família das gramíneas (*Poaceae*) e à subfamília *Bambusoideae*. Geralmente, as espécies de bambus apresentam folhas lanceoladas e pseudopetioladas, e são divididas em duas tribos: *Bambuseae*, que correspondem aos bambus lignificados ou lenhosos, e *Olyreae*, que são reconhecidos como bambus herbáceos (OLIVEIRA *et al.*, 2006 *apud* PEIXOTO, 2008).

A etimologia da palavra bambu não é conhecida com precisão. Greco & Cromberg (2010 *apud* PEREIRA, 2012) acreditam que o termo bambu começou a ser utilizado pelo naturalista sueco Carlos Lineo (1707-1778) que adotou a terminologia mambu ou bambu a partir do idioma híndi falado na Índia. Outros autores especulam que sua origem é malaia, sendo a onomatopeia para “bam-boom”, o som que os colmos fazem quando são queimados. Embora nem todos cheguem em um acordo sobre o país de origem, os autores concordam que a palavra tem procedência neohárica, língua falada na Índia, Paquistão, Irã e países vizinhos (LÓPEZ, 2003; FILGUEIRAS; GONÇALVES, 2006, p. 34 *apud* PEIXOTO, 2008).

Existem outros nomes populares para o bambu no Brasil, os quais possuem origem tupi-guarani como, por exemplo, taquara e taboca, membros da subfamília *Bambusoideae*. Outras palavras como criciúma, taquari, taquara-obi, taquaratinga e

taquaraçu referem-se a gêneros/tipos diferentes de taquara ou taboca (FILGUEIRAS; SANTOS-GONÇALVES, 2007).

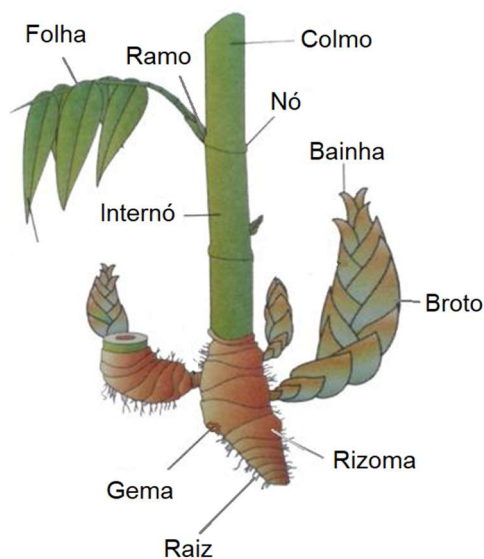
Alguns gêneros e espécies têm características mais favoráveis para a utilização na construção civil. Bambus do gênero *Merostachys* podem ser utilizados para a fabricação de painéis que, por sua vez, podem ser usados em andaimes, pisos, paredes, forros, coberturas, cercas, entre outros. Já os bambus do gênero *Guadua* possuem alta resistência mecânica e são usados em habitações, pontes, escadas, entre outros. Devido a sua grande durabilidade natural e excelentes propriedades mecânicas, destaca-se a espécie *Guadua angustifolia*, muito utilizada em países como a Colômbia, Venezuela e Equador (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

A espécie *Dendrocalamus asper* possui boa resistência mecânica e não é suscetível ao ataque de insetos, sendo muito utilizada na construção civil. Por outro lado, a *Bambusa vulgaris* é uma planta bastante sensível ao fogo, tortuosa e suscetível ao ataque de insetos por apresentar alto teor de amido, sendo o seu uso geralmente restrito “a estruturas mais simples e de baixa vida útil” (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019, p. 21). Já os bambus da espécie *Bambusa tuldoides* não são tão suscetíveis ao ataque de insetos e seus colmos possuem alta resistência mecânica (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

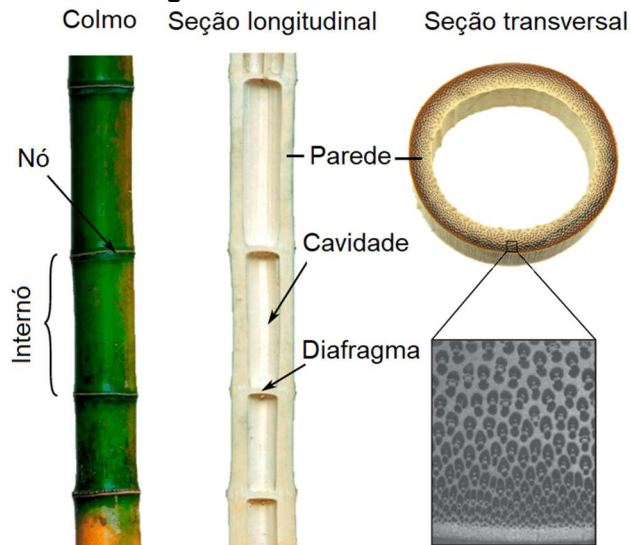
Além das espécies citadas anteriormente é importante mencionar as espécies: *Phyllostachys pubescens*, que é bastante utilizada na forma de bambu laminado colado; e a *Phyllostachys aurea*, que possui colmos com uma boa resistência mecânica e ao ataque de insetos, podendo ser curvados facilmente - o que possibilita a construção de arcos para telhados de estufas, auxiliando também na contenção de barrancos, encostas e no combate à erosão do solo devido ao seu enorme potencial de alastrar-se (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

2.2 Anatomia do bambu

O bambu é constituído por uma parte subterrânea e outra aérea. Na parte subterrânea, encontra-se a fundação estrutural chamada de rizoma. Esse caule subterrâneo possui a função de armazenar e transportar os nutrientes, além de ser o órgão reprodutor. Dos rizomas crescem os colmos que ficam na parte aérea da planta (Figura 2) (LÓPEZ, 2003; MINKE, 2012).

Figura 2 – Partes do bambu

Fonte: adaptado de NMBA (2011)

Figura 3 – Partes do colmo

Fonte: adaptado de Gangwar e Schillinger (2019)

O colmo ou talo apresenta um sistema que alterna nós e entrenós. Os entrenós, também chamado internós, são partes do colmo compreendidas entre dois nós consecutivos (ABNT, 2020b). Já os nós são diafragmas que fornecem uma maior rigidez, flexibilidade e resistência aos colmos. Nestes nós, podem existir pequenos bulbos que são chamados gemas, onde crescem o rizoma, os ramos e as folhas (Figura 2). O colmo possui uma cavidade interna e a parede externa, que é a parte sólida composta pelos vasos, parênquimas, fibras e casca (Figura 3) (LÓPEZ, 2003; PEREIRA, 2012; PROJETO BAMBU, 2022; JANSSEN, 1988 *apud* PEREIRA, 2012; MINKE, 2012).

O comprimento dos internós aumenta da base até o meio do colmo, e vai diminuindo conforme se aproxima do topo, tendo em média um comprimento de 20 a 35 cm na maioria das espécies (LIESE, 1985 *apud* PEREIRA, 2012). Londoño (2003 *apud* MINKE, 2012) afirma que o bambu possui todos os nós e internós do colmo adulto comprimidos no broto, sendo que somente os internós crescem verticalmente enquanto o bambu está se desenvolvendo.

Enquanto os colmos estão amadurecendo eles passam por um processo de lignificação, que funciona como um aglomerante natural para os demais componentes do bambu (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019). Esse processo dura entre quatro a seis anos e, após esse período, os feixes vasculares se fecham, secando completamente, então o colmo pode ser usado para construções (MINKE, 2012).

O bambu também é constituído por fibras longitudinais. Estas são as principais responsáveis pela resistência e representam de 40% a 50% do total dos tecidos dos bambus (LÓPEZ, 2003). Geralmente, na condição seca a resistência é maior do que na condição verde e, para a flexão e clivagem, a diferença entre as condições seca e verde não é significativa (LIESE, 1985). Além disso, Liese (1998 *apud* PEREIRA, 2012) salienta que na região dos nós há um acúmulo de vasos e fibras, tornando-a mais densa que as demais.

Já o parênquima é o tecido básico da planta que envolve e abriga fibras, vasos e condutores de seiva e sua função é estocar nutrientes e água. Encontra-se cerca de 60% na parte basal e 40% na parte apical, estando presente em maior proporção na camada interna. A parênquima contém umidade, a qual decresce gradualmente com o passar do tempo - logo, as paredes se tornam mais grossas e os espaços intracelulares menores com a idade do colmo (LIESE, 1998). Segundo Taihui e Wenwei (1985 *apud* LÓPEZ, 2003), o tecido básico contribui para a elasticidade dos colmos.

A planta não apresenta crescimento radial, pois não possui elementos anatômicos nesse sentido e nem no sentido tangencial (GRAÇA, 1988, p. 25 *apud* PEIXOTO, 2008). Assim, ela já nasce com o seu diâmetro definitivo, desenvolvendo simultaneamente a estrutura do caule, galhos e folhas (NUNES, 2005).

O ápice do diâmetro dos colmos para uma mesma espécie se dá em torno do quarto ou quinto ano após o plantio, pois “está em função da idade da moita e das condições locais” (PEREIRA, 2012, p. 32). Além do diâmetro, as condições do ambiente em que o bambu é plantado também influenciam nas suas propriedades: por exemplo, um solo fértil, clima úmido e quente propiciam o melhor desenvolvimento do colmo, o qual alcança um porte maior. Porém, a densidade dos feixes vasculares e quantidade de tecido são menores, então, a densidade do bambu será menor. O oposto acontece em ambientes com solo árido, temperaturas baixas e clima seco: a densidade do bambu é alta, assim como seus feixes vasculares e tecidos e seus colmos são delgados (CNBRC, 2001 *apud* PEREIRA, 2012).

De acordo com Pereira (2012), os colmos se alongam verticalmente de forma contínua diariamente, cerca de 20 cm até 1 m, dependendo da espécie, atingindo sua altura máxima entre 30 dias (espécies de menor porte) e 180 dias (espécies gigantes). Usualmente, as espécies alastrantes crescem rapidamente e

durante o dia, diferentemente das espécies que formam moitas, que tem crescimento noturno e mais lento. Após o período inicial de crescimento, começa o processo de amadurecimento do colmo que, segundo a norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020b), ocorre normalmente entre três e sete anos, em que as propriedades de resistência mecânica são desenvolvidas (PEREIRA, 2012).

2.3 Propriedades físicas e mecânicas do bambu

O bambu, similar à madeira, é um material considerado higroscópico, apresentando grande capacidade de absorver a umidade (LIESE, 1987 *apud* PEREIRA, 2012). As camadas do colmo são altamente higroscópicas, a taxa dessa absorção é alta no começo e vai estabilizando com o tempo (ZHOU, 2000 *apud* PEREIRA, 2012), contudo, a casca do bambu é pouco permeável.

O teor de umidade do bambu é mais elevado na base e nas partes internas da parede do colmo, diminuindo à medida em que se caminha para o topo. Quanto mais jovem for o colmo, maior será o seu teor de umidade (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019). No colmo recém cortado, seu teor de umidade é de cerca de 80% (BERALDO *et al.*, 2003 *apud* PEREIRA, 2012). Para que sua umidade fique em torno de 10 a 15%, é necessário um período de secagem ao ar (BERALDO *et al.*, 2003 *apud* PEREIRA, 2012). Esta etapa é importante porque permite reduzir a massa do colmo, facilitando seu transporte e aumentando sua resistência (PEREIRA, 2012). Conforme o aumento ou a diminuição de umidade, o bambu pode apresentar inchamento ou retração, afetando suas dimensões de acordo com os eixos axiais (BERALDO *et al.*, 2003 *apud* PEREIRA, 2012). Por exemplo, no início da secagem, o bambu tem maior retração (LIESE, 1987 *apud* PEREIRA, 2012).

As variações dimensionais do bambu no eixo longitudinal axial não são significativas quando comparadas com as das madeiras, sendo inferior a 0,5%. Quando empregado na sua forma roliça, a variação dimensional diametral é aproximadamente de 5%; então, deve-se prever a necessidade de ajustes nas conexões dessas peças (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019).

A massa específica aparente por unidade de volume do bambu também é muito significativa para as suas propriedades mecânicas. Segundo Janssen (2000),

para a maioria dos bambus, ela varia entre 700 e 800 kg/m³ e, para Liese (1998 *apud* PEREIRA, 2012), ela varia entre 500 e 800 kg/m³.

Essa densidade do bambu é influenciada pela umidade e pela posição no colmo em que foi retirada a amostra (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019). Na parede do colmo, a massa específica aparente é maior na parte externa do que na interna por causa da menor quantidade do tecido básico e dos feixes vasculares na camada externa. Essas diferenças são maiores na base do colmo do que na sua parte superior, isso se deve ao aumento da densidade aparente no topo e à redução na espessura da parede, que apresenta internamente menos parênquima e mais fibra (LIESE, 1998 *apud* PEREIRA, 2012).

Então, a região mais resistente é a que possui mais fibras (LIESE, 1998 *apud* PEREIRA, 2012). E a resistência mecânica é menor na região dos vasos condutores que constituem os principais vazios no tecido (CNBRC, 2001 *apud* PEREIRA, 2012).

Por sua vez, o módulo de elasticidade está relacionado ao comprimento das fibras (LIESE, 1987 *apud* PEREIRA, 2012). Segundo Beraldo *et al.* (2004 *apud* PEREIRA, 2012), o módulo de elasticidade varia entre 5,5 e 18,0 GPa. Já nos ensaios de Carbonari *et al.* (2017), os valores obtidos foram maiores e demonstraram que a presença do nó não afetou significativamente, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade

Espécie de bambu	Módulo de Elasticidade (GPa)	
	Com Nó	Sem Nó
<i>Dendrocalamus Asper</i>	23,30±8,5%	24,80±6,7%
<i>Bambusa Oldhamii</i>	20,70±7,3%	19,70±5,5%
<i>Dendrocalamus Giganteus</i>	21,90±6,4%	21,80±7,2%

Fonte: Carbonari *et al.* (2017)

O bambu apresenta boa resistência à compressão paralela às fibras, conforme apresenta a Tabela 2. Já para a resistência à compressão perpendicular as fibras, os valores são mais baixos.

Salgado Neto (2018 *apud* SILVA; RUBENS; CABRAL, 2021) considerou os nós como um ponto de fragilidade na direção longitudinal, pois, durante o ensaio de resistência à compressão nos nós, verificou aberturas causadas pela ruptura neste eixo. Ademais, estudos de Ghavami e Hombeeck (1981 *apud* OLIVEIRA, 2013) apontam que os nós dão rigidez à estrutura em relação à flambagem lateral.

Tabela 2 – Resultados de ensaios de resistência à compressão paralela às fibras

Autor	Espécie	Resistência à compressão (MPa)	
		Com Nó	Sem Nó
Carbonari <i>et al.</i> (2017)	<i>Dendrocalamus Asper</i>	51,15±5,2%	49,84±4,5%
	<i>Bambusa Beecheyana</i>	50,16±6,8%	48,20±5,1%
	<i>Dendrocalamus Giganteus</i>	48,27±3,5%	46,32±3,2%
Beraldo (1987) <i>apud</i> Pereira (2012)	<i>Dendrocalamus Giganteus</i>	93,0	
Carbonari <i>et al.</i> (2017)	<i>Bambusa Oldhamii</i>	72,17±6,1%	70,04±3,8%
	<i>Bambusa Tulda</i>	75,18±7,0%	72,75±4,8%
	<i>Guadua Angustifolia</i>	45,45±4,3%	42,17±3,1%
	<i>Bambusa Nutans</i>	47,63±4,7%	47,38±4,4%
	<i>Bambusa Vulgaris</i>	50,40±6,7%	48,42±5,6%
Silva, Rubens e Cabral (2021)	<i>Bambusa Vulgaris</i>	31,97±6,1%	42,57±5,5%
Carbonari <i>et al.</i> (2017)	<i>Arundinaria Amabilis</i>	38,35±5,4%	38,20±6,7%
Beraldo (1987) <i>apud</i> Pereira (2012)	<i>Phyllostachys sp</i>	55,0	
	<i>Phyllostachys purpuratta</i>	65,0	

Fonte: Elaborado pela autora (2022)

Possíveis discrepâncias entre os resultados dos ensaios de caracterização do bambu estão no Apêndice A.

O bambu possui valores baixos de resistência ao fendilhamento (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019). A distribuição mais homogênea dos feixes vasculares favorece o fendilhamento do colmo (LIESE, 1987 *apud* PEREIRA, 2012).

Já para os esforços de tração axial, Culzoni (1986 *apud* OLIVEIRA, 2013) denota que o bambu apresenta bons resultados de resistência por causa da disposição de suas fibras. Todavia, quando os esforços são aplicados ortogonalmente às fibras, a resistência é consideravelmente menor. Isso ocorre também nos nós, em razão da interrupção das fibras na região.

De acordo com a ONU (1972 *apud* MARÇAL, 2008) a resistência à tração paralela da região externa do bambu pode chegar a 260 Mpa. Esse valor, segundo Beraldo *et al.* (2004 *apud* PEREIRA, 2012), varia entre 40 MPa e 215 MPa, com ou sem nó. Já Pereira (2012) afirma que a resistência à tração do bambu alcança até 370 MPa.

Por sua vez Carbonari *et al.* (2017) realizaram ensaios de resistência à tração paralela às fibras conforme a ISO/TC165 N314 de 1999, o que permitiu a avaliação da influência da presença do nó e da posição das fibras em relação à parede do bambu. Os valores encontrados nos ensaios estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de resistência à tração paralela às fibras

Espécie de bambu	Fibra Interna (MPa)		Fibra Externa (MPa)	
	Com Nó	Sem Nó	Com Nó	Sem Nó
<i>Dendrocalamus Giganteus</i>	52±16,1%	133±5,7%	186±12,6%	203±4,4%
<i>Bambusa Oldhamii</i>	79±14,5%	133±7,1%	134±17,7%	229±7,5%
<i>Bambusa Tulda</i>	82±16,8%	172±6,6%	168±21,8%	211±6,6%
<i>Bambusa Nutans</i>	69±17,8%	150±5,5%	135±18,2%	244±5,8%

Fonte: Carbonari *et al.* (2017)

Carbonari *et al.* (2017) observaram valores menores nos corpos de prova retirados da parte interna do bambu, pois no local há baixa concentração de fibras. Na região com nó a resistência à tração foi reduzida e a ruptura foi frágil e abrupta. Já os corpos de prova sem a presença de nós apresentaram maior ductilidade.

Assim, observa-se que a resistência à tração do bambu diminui quando há presença de nós (LÓPEZ, 1974 *apud* PEREIRA, 2012). No entanto, ela independe da região do colmo em que foi retirada a amostra (GHAVAMI, HOMBECK, 1981 *apud* PEREIRA, 2012). Quanto à resistência de cisalhamento paralelo às fibras, Silva, Rubens e Cabral (2021) obtiveram 3,9 MPa como valor médio de resistência, com 0,5 MPa de desvio padrão, sendo que a média de áreas cisalhadas foram três e o teor de umidade foi de 13,2%.

O bambu é mais resistente ao esforço do cisalhamento na direção perpendicular do que na direção paralela (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019). Pereira (2012) alega que a resistência ao cisalhamento transversal às fibras do bambu pode variar entre 20,0 e 65,0 MPa e a resistência ao cisalhamento longitudinal às fibras é de 15% de sua resistência à compressão.

A resistência do bambu à flexão estática pode variar entre 30 e 170 Mpa. Esta variação “deve-se não apenas à sua própria resistência à flexão estática, mas também pode ser causada pelo tipo de teste de flexão e pelo tamanho da amostra usada na execução dos testes” (PEREIRA, 2012, p. 60).

2.4 Bambu na construção de edificações

Serão apresentados neste tópico os elementos em bambu para a construção civil, componentes e subsistemas construtivos e normas e regulamentos técnicos.

2.4.1 Produtos em bambu para a construção civil

Para caracterizar o bambu na construção civil, é importante mencionar que a forma tradicional de aplicar o bambu na construção é com elementos em colmos. Como exemplificados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Habitação com colmos de bambu



Fonte: Guadua bamboo (2022)

Figura 5 – Telhado com colmos de bambu



Fonte: Guadua bamboo (2022)

Entretanto, o colmo do bambu pode ser trabalhado para obter outros produtos básicos, como lâminas, lascas, ripas ou partículas, conforme a finalidade desejada (Figura 6).

Figura 6 – Derivações do bambu



lâminas
Fonte: Moizés (2007)

lascas

ripas

partículas

O colmo pode ser processado, por exemplo, para a obtenção de lascas e partículas que são orientadas, prensadas e coladas, formando os painéis do tipo *Oriented Strand Board* (OSB). Estes podem ter função de vedação interna ou função estrutural (MOIZÉS, 2007). Um exemplo de painel OSB está presente na Figura 7.

Figura 7 – Painel OSB



Fonte: Green Corp (2006 *apud* MOIZÉS, 2007)

As tiras, ripas (Figura 8) ou taliscas de bambu (Figura 9) podem ser utilizadas de forma natural ou usinadas com serragem, prensagem, beneficiamento. Geralmente, as tiras naturais são aplicadas de forma mais artesanal para elaboração de tramas manuais em vedações e forros (SILVA, 2008).

Figura 8 – Trama feita com ripas de bambu



Fonte: Beraldo e Aleixo (2019)

Figura 9 – Taliscas aplainadas e usinadas



Fonte: Reghin Filho, Callefi e Miotto (2017)

Já as tiras aplainadas e usinadas são posicionadas na horizontal ou na vertical, lado a lado e coladas entre si, podendo constituir uma ou mais camadas com lâminas paralelas ou perpendiculares entre si. Com esse laminado é possível produzir painéis como os de bambu laminado colado e bambu laminado contraplacado. Além de painéis, podem ser produzidas peças de bambu laminado colado similares às madeiras serradas tipo pranchas, sarrafos, vigotes (MOIZÉS, 2007). A Figura 10 apresenta um exemplo de aplicação de componentes estruturais tipo pilar e viga em bambu laminado colado (BLC) para uma edificação produzida pela Universidade de Brasília (ALMEIDA, 2016).

O bambu laminado colado (BLC) tem recebido grande destaque atualmente, pois o material é mais homogêneo quando comparado ao bambu em sua forma natural, sofrendo menos deformações e apresentando alta resistência. Ele permite a industrialização da construção, com seus benefícios, como racionalização e precisão. Também, o BLC aumenta as possibilidades de seções e de comprimentos comerciais disponíveis (PEIXOTO, 2008). A Figura 11 apresenta uma construção feita em BLC por uma universidade na China em 2017.

Figura 10 – Pilar-viga em BLC



Fonte: Almeida (2016)

Figura 11 - Construção com BLC na China



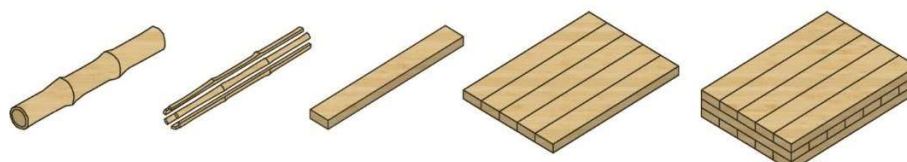
Fonte: Chen *et al.* (2019)

A fabricação do BLC pode ser feita industrialmente, manualmente ou em um processo mecânico-manual, dependendo dos equipamentos utilizados para o processamento do bambu (CARDOSO JÚNIOR, 2008 *apud* LIMA, 2013; PEIXOTO, 2008). Inicialmente, a partir do colmo de bambu são retiradas as tiras que são aplainadas e serradas com as dimensões desejadas. Depois, elas passam por um processo de tratamento conforme a espécie utilizada (ROSA *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2019). Já secas, as tiras são dispostas lado a lado e coladas com adesivos especiais em duas ou mais camadas com as fibras no mesmo sentido e prensadas. Por fim, a peça é beneficiada na dimensão desejada e lixada para dar acabamento (LAPO; BERALDO, 2008). Para realizar emendas longitudinais nestas peças, podem ser feitas juntas em cunha simples (*scarf joints*), de topo (*top joints*) e dentadas (*finger joints*) (MELO, 2005 *apud* PEIXOTO, 2008).

Observa-se que a espécie, a resistência do material utilizado, a quantidade de nós, a direção das fibras, a espessura, o número de lâminas e as emendas são fatores determinantes na produção do BLC e podem alterar suas características físico-mecânicas (CARRASCO *et al.* 1995 *apud* PEIXOTO, 2008).

Já o painel de bambu contraplacado é formado por diversas camadas alternando o sentido das fibras transversalmente a cada camada (Figura 12).

Figura 12 – Diagrama da composição do bambu laminado colado



Fonte: CAO (2020)

2.4.2 Elementos em bambu para a construção civil

Na construção de edificações, o bambu pode ser utilizado como elemento estrutural e de vedação, exceto em chaminés e lugares perto de fogo (XIAO; INOUE; PAUDEL, 2008). Como elementos estruturais, o bambu pode ser utilizado em pilares, vigas, fundações, lajes, treliças, entre outros.

Geralmente, as fundações das edificações em bambu são feitas com outro material como madeira tratada, concreto ou tubos de PVC, elevando e protegendo os elementos em bambu da construção do nível do solo e da umidade adquirida pela

capilaridade (BERALDO; ALEIXO, 2019; OLIVEIRA; GAFFURI; MOURA, 2021). Pois, por sua composição orgânica, o bambu úmido e não tratado apresenta maior suscetibilidade de ataques de fungos e outros insetos xilófagos, diminuindo consideravelmente a durabilidade do material (BENAVIDES, 2019).

Os pisos ou entrepisos da edificação podem ser estruturados em uma ou mais camadas de barrotes de bambu do tipo colmos (Figura 13), meio colmos ou BLC. Estas estruturas podem ser completadas com chapas OSB, tramas de taliscas ou, ainda, podem ser mistas com concreto, como ilustram as Figuras 14 e 15 (PADOVAN, 2010; LOPES *et al.*, 2020; OLIVEIRA; GAFFURI; MOURA, 2021). O acabamento do piso pode ser em diversos materiais, inclusive de laminados de bambu para áreas secas (Figura 16) (LÓPEZ, 2003).

Figura 13 – Piso com colmos

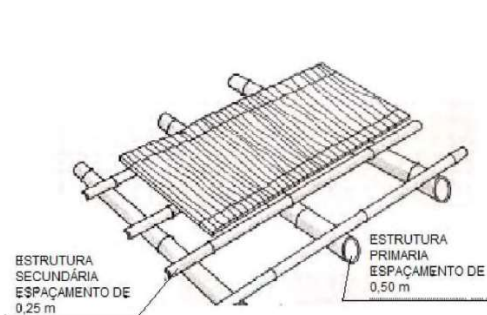
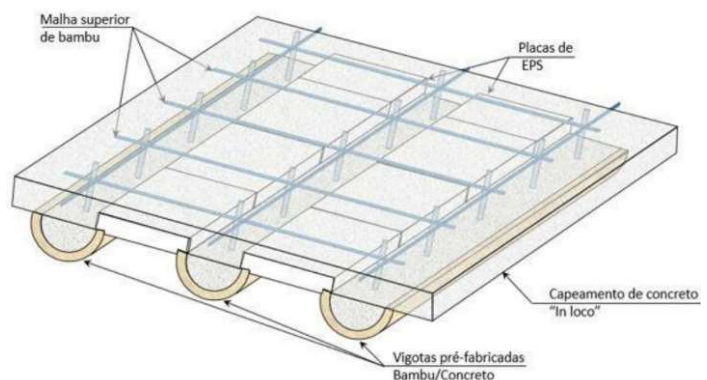
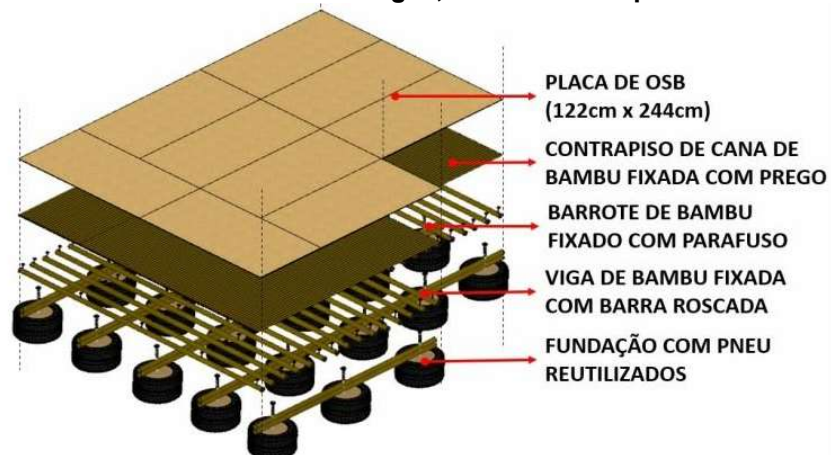


Figura 14 – Piso misto em bambu e concreto



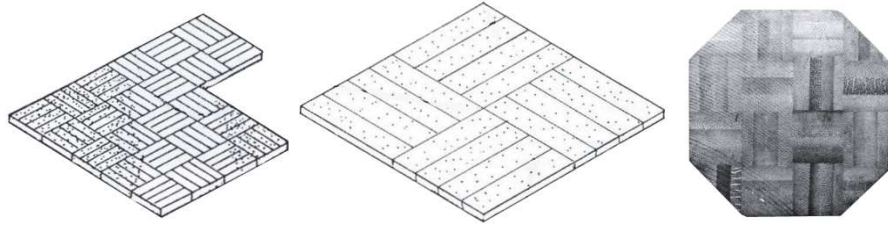
Fonte: Jayanetti e Follett (1998 *apud* PADOVAN, 2010) Fonte: Rossi (2019 *apud* LOPES *et al.*, 2020)

Figura 15 - Piso estruturado com vigas, barrotes e chapas OSB



Fonte: Oliveira, Gaffuri e Moura (2021)

Figura 16 - Piso de bambu laminado



Fonte: adaptado de López (2003)

Para acesso dos pisos superiores, podem ser construídas escadas estruturadas com bambu (Figura 17) (MINKE, 2012). Entretanto, não devem ficar em contato direto com o solo (TEIXEIRAS, 2006 *apud* EFFTING, 2017).

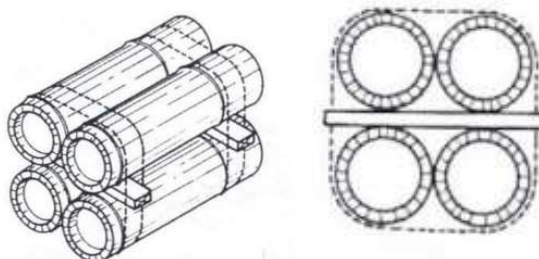
Figura 17 - Escadas em bambu



Fonte: Minke (2012)

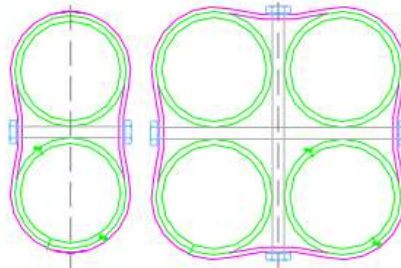
A sustentação das edificações, geralmente, é composta por pilares e vigas de bambu, os quais podem ser em colmos (Figuras 18 e 19) ou em BLC (Figura 10) (LÓPEZ, 2003; ALMEIDA, 2016). Caso seja necessário, peças diagonais ou tirantes são utilizados com função de contraventamento para uma melhor estabilidade do sistema estrutural (PADOVAN, 2010).

Figura 18 - Vigas em bambu com quatro colmos



Fonte: López (2003)

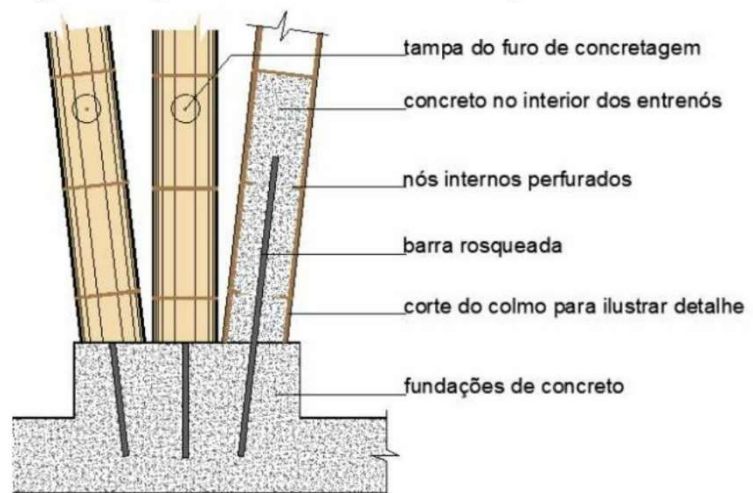
Figura 19 - Pilar em bambu com dois e quatro colmos



Fonte: Tongji University (2010)

A ligação entre pilares e a fundação pode ocorrer de diversas maneiras, sendo o preenchimento do colmo com concreto muito utilizado na base (Figura 20). Deve-se ter uma impermeabilização da base de concreto ou algum material de proteção para a base do colmo não tem contato com a umidade (MARÇAL, 2008; BENAVIDES, 2019).

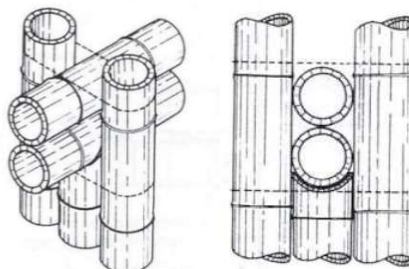
Figura 20 – Exemplo e detalhe de ancoragem de pilares em bambu à fundação de concreto



Fonte: Benavides (2019)

Já a ligação mais comum entre pilar e viga utiliza colmos duplos de bambu. Isso é representado na Figura 21.

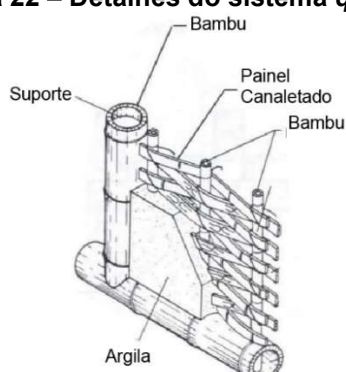
Figura 21 – Ligação pilar-viga



Fonte: López (2003)

Para a vedação das paredes existem diferentes sistemas propostos e desenvolvidos conforme as características, climas e culturas locais (DUNKELBERG, 1996 *apud* PADOVAN, 2010). A técnica do Peru denominada *quincha* (Figura 22) é formada por uma ossatura ou um quadro de colmos e vedada com uma trama de tiras preenchida com argila. Devido à resistência da *quincha* aos terremotos locais, seu uso foi bastante popularizado que até uma norma foi criada no século XVIII obrigando o seu uso em paredes altas. Um exemplo de uma edificação construída é a catedral de Santo Domingo em Lima, Peru apresentada na Figura 23 (INBAR, 2006).

Figura 22 – Detalhes do sistema *quincha*



Fonte: adaptado de López (2003)

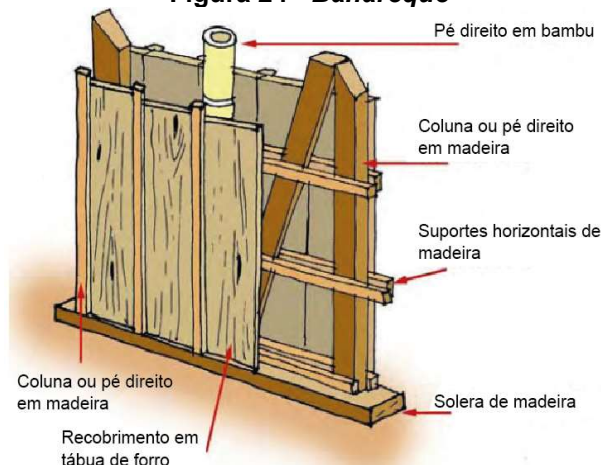
Figura 23 - Construção feita com *quincha*



Fonte: Cuadra, Saito e Zavala (2012)

Na Colômbia, país que também sofre com fortes terremotos, um outro sistema construtivo foi desenvolvido, chamado de *bahareque*. A forma tradicional desse sistema é composta principalmente pelo bambu e pela madeira, como mostram as Figuras 24 e 25. Outros materiais podem ser usados nessa composição, como a terra (Figura 26), o cimento, e a tela metálica (Figura 27), material que é muito utilizado atualmente (AIS, 2004).

Figura 24 - *Bahareque*

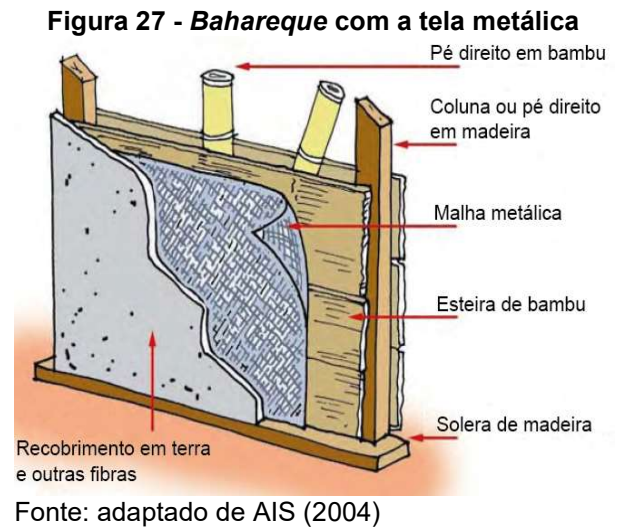
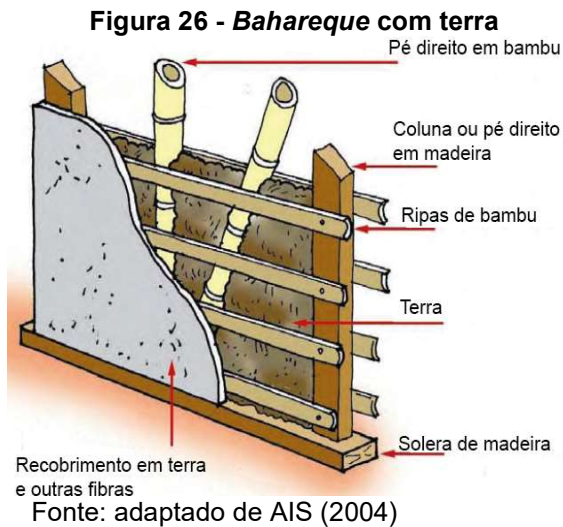


Fonte: adaptado de AIS (2004)

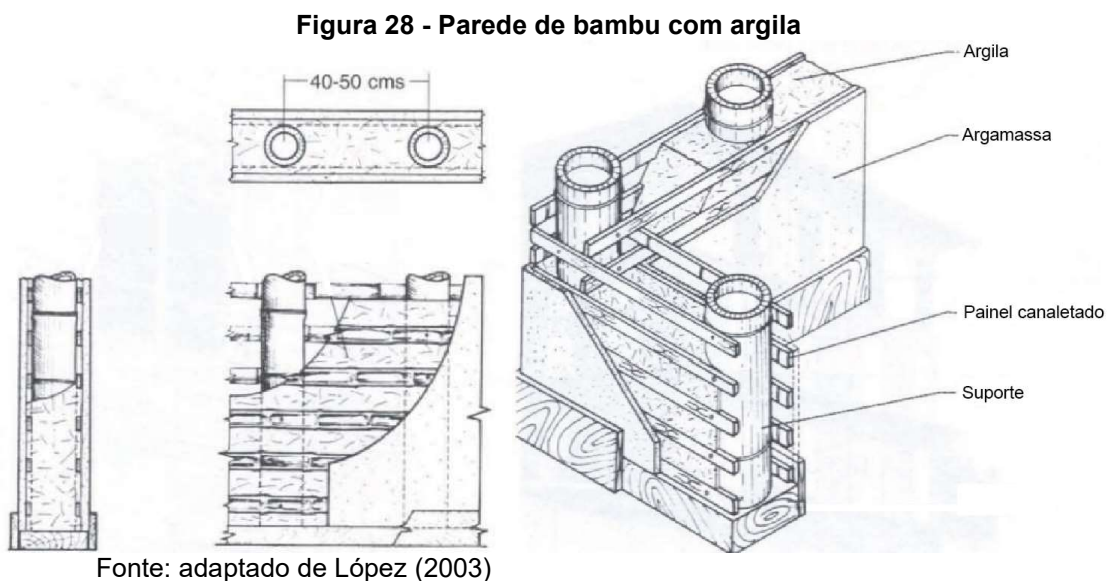
Figura 25 - Edificação que utiliza *bahareque*



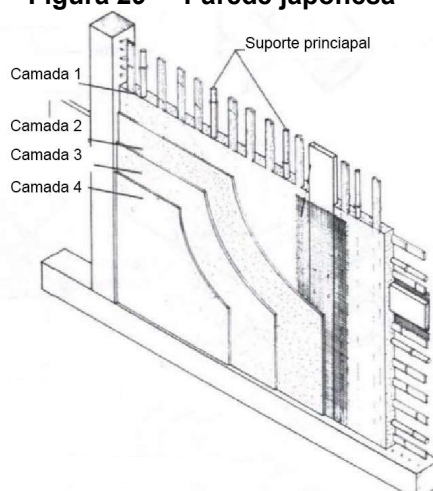
Fonte: Robledo (1993 *apud* GIRALDO *et al.*, 2014)



Outra técnica bastante utilizada na Colômbia são as paredes formadas por painéis com colmos e tiras de bambu preenchidos com argila (LÓPEZ, 2003). Os detalhes construtivos estão expostos na Figura 28.



No Japão, a estrutura da ossatura é mais robusta e feita em madeira e a vedação da parede consiste em ripas de bambu trançadas, com três ou quatro camadas de argamassa, conforme ilustrado na Figura 29 (LÓPEZ, 2003).

Figura 29 - “Parede japonesa”

Fonte: adaptado de López (2003)

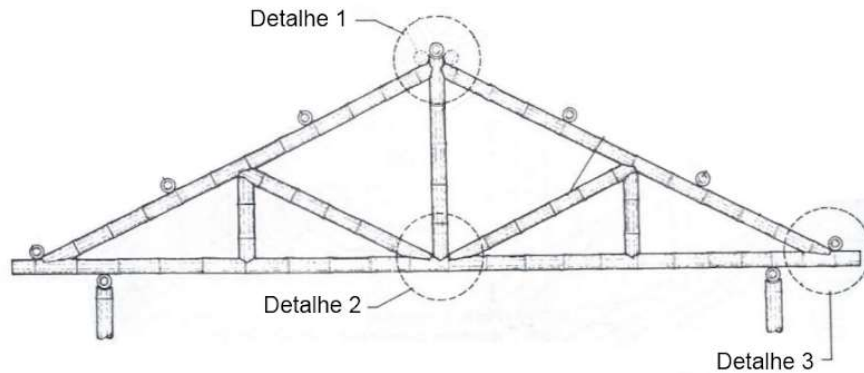
Para a vedação e divisória de paredes internas, as esteiras de bambu (Figura 30), formadas por lâminas finas trançadas, também podem ser utilizadas como elementos de vedação. No Equador, são as formas mais usadas para a produção de painéis rebocados ou aparentes (SILVA, 2008).

Figura 30 - Parede feita com esteiras de bambu

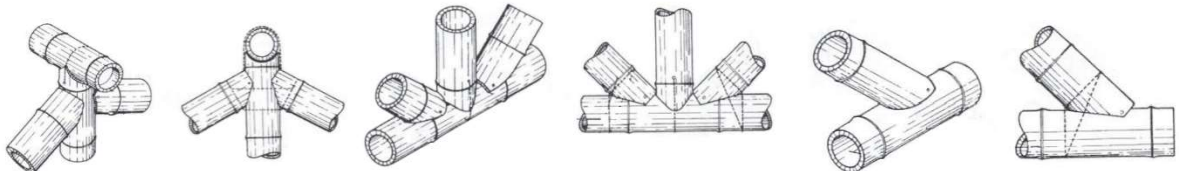
Fonte: Minke (2012)

Similar as técnicas apresentadas, no Brasil existe o pau a pique, ou taipa de mão, técnica mais recorrente atualmente em Florianópolis, com uma estrutura de madeira apoiada sobre uma fundação de concreto e amarrações de arame galvanizado (LISBÔA, 2019). Nela, a terra é utilizada como enchimento e sua estabilidade provém de uma moldura ou trama de madeira, bambu ou uma união dos materiais (FIGUEIREDO, 2011 *apud* LISBÔA, 2019).

As coberturas também podem ser feitas utilizando o bambu, compostas por materiais leves geralmente (EFFTING, 2017). As Figuras 31 e 32 apresentam uma treliça *Howe* em colmos roliços e os detalhes dos seus nós.

Figura 31 - Estrutura de um telhado

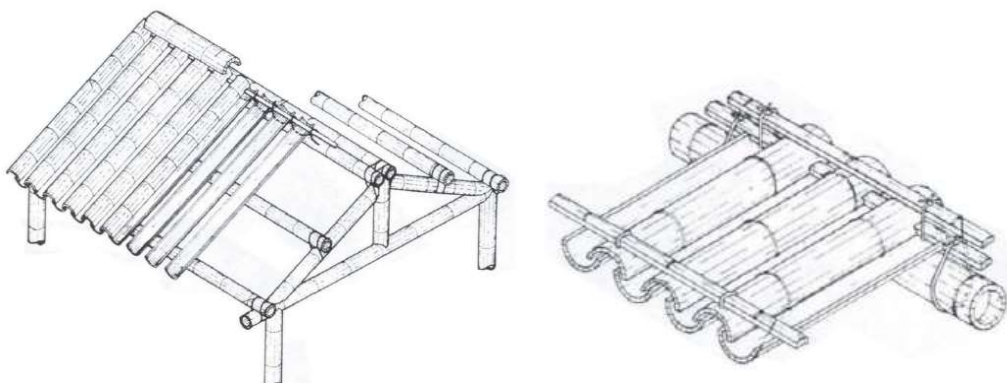
Fonte: adaptado de López (2003)

Figura 32 – Detalhes dos nós e das ligações entre as peças

Fonte: López (2003)

As terças, os caibros e as ripas podem ser feitas com bambu em colmo ou também com BLC. É importante ressaltar que são necessários beirais suficientes para proteger as estruturas aparentes em bambu, como os pilares, incidência dos raios solares e de precipitações (MARÇAL, 2008).

Para fechar a cobertura, pode-se utilizar diversas telhas. Algumas telhas propostas em bambu são: telhas fasquias (*shingles*), nas quais o bambu é cortado ao meio longitudinalmente; ripas; bambu roliço e esteiras (CARDOSO JUNIOR, 2000). Um exemplo de telhado com telhas fasquias está na Figura 33. Entretanto, Padovan (2010, p. 78) adverte que “a exposição direta das telhas de bambu, em sua forma natural ou tratada, não resiste às intempéries”.

Figura 33 - Detalhe de um telhado em bambu

Fonte: López (2003)

Sob a cobertura, “a instalação de forros melhora a temperatura ambiente”, ajudando com a circulação de ar e troca de calor entre as telhas de cobertura e o ambiente. Eles podem ser “confeccionados com tiras de bambu trançadas” (PADOVAN, 2010, p. 65).

Além disso, as ligações e conexões de colmos de bambu estão apresentadas no Apêndice B.

Como demonstrado até aqui, o bambu é muito versátil e permite a aplicação e o desenvolvimento de diferentes sistemas construtivos. Entretanto, é importante colocar que todas as peças de bambu devem ser previamente tratadas para garantir sua durabilidade. Existem diversos tipos de tratamento, como os tradicionais: cura dos colmos na mata, imersão dos colmos em água, fervura do bambu, tratamento com fogo ou calor, tratamento com fumaça, lavagem com cal, proteção com reboco; e os tratamentos químicos, como: aplicação de preservativos oleossolúveis e hidrossolúveis. Detalhes de projeto também são importantes para preservação do material e minimização de manifestações patológicas na edificação (BENAVIDES, 2019).

2.4.3 Normas e regulamentos técnicos para construções em bambu

Existe uma norma brasileira, dividida em duas partes, relacionada aos colmos de bambu: a norma NBR 16828-1 Estruturas de Bambu - Parte 1: Projeto (ABNT, 2020b) e norma NBR 16828-2 Estruturas de Bambu - Parte 2: Determinação das Propriedades Físicas e Mecânicas do Bambu (ABNT, 2020c). E em 2022, a Consulta Nacional para o projeto de norma NBR 17043 - Varas de bambu para uso estrutural — Colheita, tratamento imunizante e classificação pelo diâmetro foi lançada (ABNT, 2022b). Ressalta-se que a norma NBR 16828 (ABNT, 2020c) não se aplica aos bambus processados (bambu laminado colado, placas OSB, entre outros).

Outros países também possuem normas relacionadas a ensaios, projetos, dimensionamento, à execução e à produção de bambu que foram publicadas antes e algumas delas serviram como base para a norma brasileira. Dentre elas, pode-se citar: a norma indiana de 2008 *Indian Standard (IS) 6874 - Method of tests for bamboo*, que possui orientações sobre ensaios para a determinação das propriedades do bambu; a norma internacional *International Organization for Standardization (ISO) 22157 -*

Bamboo - Determination of physical and mechanical properties publicada em 2004, a qual é dividida em duas partes, a primeira contendo os requisitos e a segunda um manual para a realização dos ensaios e a norma colombiana NTC 5525 - *Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la Guadua angustifolia* Kunth de 2007 (MARÇAL, 2018).

Já as normas relacionadas ao processo de produção do bambu para uso estrutural (colheita, idade de corte, tratamento, secagem, entre outros) tem-se a norma indiana IS 9096 - *Preservation of Bamboo for structural purposes* reeditada em 2006; e as normas colombiana NSR 10 - *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente* de 2010 e NTC 5301 - *Preservación y secado del culmo de Guadua angustifolia* Kunth de 2007 para os bambus do gênero *Guadua* (MARÇAL, 2018).

Para projeto, execução e dimensionamento de estruturas em bambu, tem-se a norma indiana IS 15912 - *Structural Design using Bamboo - Code of Practice* de 2012; a ISO 22156 *Bamboo - Structural design* publicada em 2004; e a norma NSR-10 (MARÇAL, 2018).

As normas peruana NTE E.100 - *Bambú* de 2012 e a equatoriana - *Estructuras de Guadúa (GAK)* de 2017 abordam o processo de produção do bambu para uso estrutural, projeto, execução e dimensionamento de estruturas e as conexões e ligações (MARÇAL, 2018). Além dos temas citados, essas normas também abordam as vedações estruturais (autoportantes) com bambu (MARÇAL, 2018).

Neste capítulo foram apresentados os conceitos necessários para a realização de um projeto de habitação em bambu, demonstrando suas características, propriedades, as diferentes maneiras de construção, encaixes, ligamentos e cortes, ou seja, tanto detalhes quanto edificações realizadas com o material. Ele contribuiu então para o andamento do trabalho, que seguirá descrevendo a metodologia.

3 METODOLOGIA

Este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa de abordagem quantitativa e qualitativa porque possui um enfoque interpretativista na elaboração do projeto arquitetônico e os resultados numéricos no dimensionamento da estrutura da cobertura. Também, esta pesquisa possui caráter exploratório, pois tende a procurar por possibilidades para lacunas investigativas e proporcionar soluções para um problema existente – neste caso, responder a questão de como projetar e dimensionar uma habitação com sistemas estruturados de bambu. Além disso, a pesquisa é classificada como aplicada, abrangendo estudos elaborados com a finalidade de aplicá-los na situação específica do bambu na construção civil (GIL, 2017; LOZADA; NUNES, 2018).

A questão levantada foi elaborada com base em lacunas e evidências coletadas através de uma revisão bibliográfica sobre o tema sistema construtivo em bambu. Com isso, para responder esta questão e os objetivos do trabalho, foi selecionado o estudo de caso de uma habitação para o município de Florianópolis, Santa Catarina, visando aplicar as informações coletadas sobre o bambu de maneira a permitir um conhecimento mais aprofundado e detalhado sobre o tema.

Os principais métodos que foram desenvolvidos neste trabalho, bem como as ferramentas utilizadas e os resultados alcançados para cada etapa estão no Quadro 1.

O passo a passo com todos os procedimentos feitos serão explicados nos itens a seguir.

Quadro 1 - Objetivos, atividades, ferramentas e resultados

Objetivo específico 1: desenvolver o projeto arquitetônico da habitação		
Atividades	Ferramentas	Resultados
Elaboração de diretrizes para o projeto;	Referências bibliográficas: Benavides (2019), Guadua bamboo (2022), López (2003), Ludwig e Souza (2019), Marçal (2008) e Tongji University (2010);	Diretrizes para o projeto;
Levantamento das espécies utilizadas em edificações de bambu em Florianópolis;	Referências bibliográficas e questionário (Apêndice C);	Espécie de bambu selecionada;
Definição das necessidades dos ambientes e elaboração do <i>layout</i> da habitação;	Plano Diretor e Código de Obras de Florianópolis (PMF, 2014a, 2014b, 2014c, 2021a, 2021b, 2022); NBR 15575-1 (2021); NBR 5626 (2020a)	Planilha com as necessidades dos ambientes; Planilhas de áreas;
Elaboração de desenhos arquitetônicos e da modelagem geral da habitação.	<i>Software</i> Autodesk Revit versão de estudante 2023; <i>software</i> Autodesk AutoCAD versão de estudante 2022.	Desenhos do projeto arquitetônico da habitação com <i>layout</i> (planta) e volumetria.
Objetivo específico 2: selecionar os subsistemas construtivos que compõem a habitação		
Atividades	Ferramentas	Resultados
Levantamento e definição de componentes e subsistemas utilizados em edificações em bambu.	Referências bibliográficas: Benavides (2019), Guadua bamboo (2022), López (2003), Ludwig e Souza (2019) e Tongji University (2010).	Subsistemas estrutural, de vedação e de cobertura adotados para a habitação.
Objetivo específico 3: detalhar e dimensionar a estrutura da cobertura		
Atividades	Ferramentas	Resultados
Levantamento das propriedades mecânicas da espécie adotada;	Carbonari <i>et al.</i> (2017);	Resistência à compressão característica;
Cálculo das resistências do bambu;	NBR 16828-1 (ABNT, 2020b);	Resistências do bambu de cálculo;
Cálculo das cargas permanentes e acidentais;	NBR 6120 (ABNT, 2019); Moliterno (2010); Terezo e Frazzon (2003); NBR 6123 (ABNT, 1988);	Cargas permanentes e acidentais de cada componente;
Cálculo da combinação de ações e dos esforços solicitantes;	NBR 8681 (ABNT, 2003);	Esforços normais e cortantes e momentos fletores de cálculo que atuam em cada componente;
Verificações das seções das peças do Estado-Limite Último e do Estado-Limite de Serviço atuantes em cada componente estrutural da cobertura.	NBR 7190-1 (ABNT, 2022a).	Dimensões dos componentes da cobertura;

Fonte: elaboração própria (2022)

3.1 Desenvolvimento do projeto da habitação em bambu

Para esta pesquisa, foi definida uma habitação térrea unifamiliar, tendo como referência o modelo geral aplicado para habitações de interesse social no Brasil, que possuem dois quartos, uma cozinha, um banheiro e uma sala de estar. A população da edificação é de quatro pessoas.

O terreno selecionado para a habitação tem aproximadamente 20 metros de largura e 50 metros de comprimento (Figura 36) e está localizado na rua Luiz Elias Daux, no distrito Ingleses do Rio Vermelho, no norte da ilha de Florianópolis, estado de Santa Catarina, conforme destacado nas Figuras 34 e 35.

Figura 34 - Localização do terreno em Florianópolis



Fonte: adaptado de PMF (2022)

Figura 35 – Localização do terreno



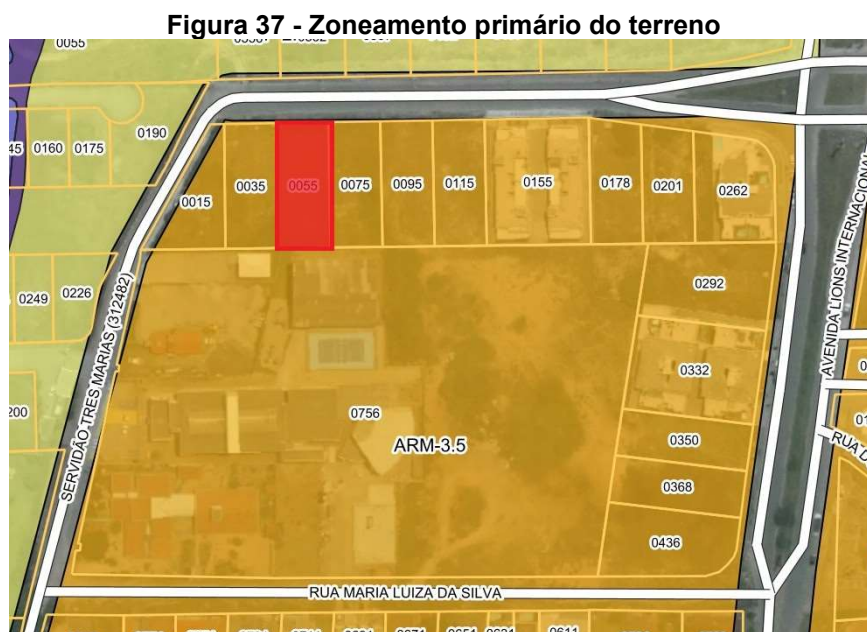
Fonte: adaptado de Google Earth (2022)

Figura 36 – Dimensões do terreno



Fonte: elaboração própria (2022)

De acordo com a Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF, 2014b), para residências unifamiliares o uso do terreno é considerado “adequado”, localizado em uma área residencial mista “ARM - 3.5” (Figura 37 – com o terreno destacado em vermelho). Os limites de ocupação pertinentes à área “ARM - 3.5” estão apresentados na Tabela 4 juntamente com os valores mínimos e máximos para o terreno.



Fonte: adaptado de PMF (2022)

Tabela 4 – Taxas de Ocupação

Macro Regiões	Áreas	Número Máximo de Pavimentos		Taxa de Ocupação Máxima	Taxa de Impermeabilização Máxima	Altura Máxima da fachada/ até cumeeira (m)	Coeficiente de Aproveitamento		
		Padrão	Acréscimo por TDC				Mínimo	Básico	Máximo Total
Macro área de Usos Urbanos	ARM 3.5	3	0	50%	70%	11/15	0,25	1	2
Habitação /Terreno	959,35	-	-	479,68	671,55	-	239,84	959,35	1918,7

Fonte: adaptado PMF (2014c)

A rua Luiz Elias Daux possui mais de 12,00 m contando com a faixa de rolamento e os acostamentos, já o passeio possui cerca de 2,00 m de largura. A testada do terreno é de aproximadamente 20,00 m, a altura de fachada terá menos de sete metros e vinte centímetros e a altura da cumeeira será menor do que dez

metros e vinte centímetros, assim, seguindo o que é estipulado pela Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF, 2014a), os afastamentos laterais serão de 1,50 m.

Para a definição de diretrizes específicas para o projeto da habitação, foram feitos levantamentos bibliográficos sobre as especificidades do bambu como material de construção, em autores como Benavides (2019), Guadubamboo (2022), López (2003), Marçal (2008), Ludwig e Souza (2019) e Tongji University (2010).

Após isso, foi feita a seleção da espécie de bambu, importante para definir detalhes para os subsistemas e posteriormente para o dimensionamento da cobertura. Para chegar nesta definição, além do levantamento bibliográfico, foi feito um questionário (Apêndice C) com empresas locais do município de Florianópolis que trabalham com construções em bambu. A partir da espécie selecionada, estimou-se uma parede com espessura de 20 cm para o projeto.

O programa de necessidades para a concepção de um anteprojeto arquitetônico da habitação foi feito com base na NBR 15575-1 - Edificações Habitacionais - Norma de Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT, 2021). Com base nessas necessidades, foi feito um diagrama para facilitar a compreensão da distribuição dos ambientes.

Para a verificação do *layout* e das dimensões dos ambientes, visando o conforto ergonômico dos usuários, foi consultada a Tabela F.2 do Anexo F da norma NBR 15575-1 (ABNT, 2021), que apresenta algumas sugestões de dimensões e dos móveis e equipamentos-padrão para os cômodos. Por exemplo, conforme a norma a largura mínima da sala de estar é de 2,40 m, com 0,50 m de espaço para circulação na frente do assento dos sofás e/ou poltrona e de uma estante para TV. O número mínimo de assentos é determinado pela população da casa.

A norma também afirma que a mesa na cozinha/sala de estar mínima é para quatro pessoas e a circulação é de 75 cm a partir da borda da mesa. A circulação da cozinha deve ser 85 cm e a largura mínima dela deve ser de 1,50 m. Para os banheiros, a largura mínima é de 1,10 m com a circulação de 40 cm frontal ao bidê, lavatório e vaso. Além disso, a norma recomenda que os dormitórios tenham pelo menos uma cama, uma escrivaninha e um guarda-roupa com espaçamento entre o mobiliário e as paredes de 50 cm.

Além da norma citada, o Código de Obras de Florianópolis - Lei Complementar nº 707 de 2021 - também foi consultado (PMF, 2021a). Entretanto, as

seções que estavam relacionadas ao dimensionamento, iluminação e ventilação dos compartimentos foram revogadas e, por isso, ele não foi utilizado na elaboração do *layout*.

O dimensionamento do reservatório de água foi elaborado para ter uma noção do tamanho necessário para as caixas d'água e da sua manutenção que serão posicionadas entre as treliças da cobertura. De acordo com o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC, 2022), para residências unifamiliares não é necessária a reserva técnica de incêndio. E, segundo a norma NBR 5626 (ABNT, 2020a), a capacidade total da reserva de água deve ser considerada a frequência e duração de eventuais interrupções de abastecimento e o volume total de água deve atender no mínimo 24 horas de consumo normal. Logo, para o cálculo do volume necessário de água fez-se o consumo diário estimado para uma pessoa vezes o número de moradores da residência. Esse resultado foi multiplicado por dois, porque foi definido que o volume de água deve atender 48 horas. O consumo diário estimado é verificado através das orientações da Vigilância Sanitária (PMF, 2021b).

No desenvolvimento geral do projeto, foram feitos estudos de volumetria para a habitação utilizando o *software* Autodesk Revit 2023 e de definições de *layout* no *software* Autodesk AutoCAD 2022. Os desenhos do projeto arquitetônico, dos subsistemas e dos detalhes da cobertura da habitação também foram realizados com estes *softwares* por maior conhecimento da autora.

3.2 Seleção dos subsistemas

Alguns subsistemas de uma construção são: fundação, estrutura, pisos, vedação, cobertura, instalações hidrossanitárias, instalações elétricas, entre outros (ROMAN; BONIN, 2003; WEIDLE, 1995). Neste trabalho, foram definidos os subsistemas estrutural, de vedação e de cobertura. Essa seleção foi feita com base em autores como: Benavides (2019), Guadabamboo (2022), López (2003), Ludwig e Souza (2019), Tongji University (2010) e outros já apresentados na revisão bibliográfica deste trabalho.

O subsistema estrutural compreende pilares, vigas e lajes. Os pilares e as vigas seguem os exemplos de López (2003) e da construção feita para o *Solar*

Decathlon de 2010 pela Tongji University. Os componentes foram desenhados para ilustração, mas não foram dimensionados neste trabalho.

Já o subsistema de vedação das paredes foi elaborado com base em experiências de construção em bambu e em madeira observados em exemplos reais citados por bibliografias, com o intuito da habitação ter um conforto termoacústico.

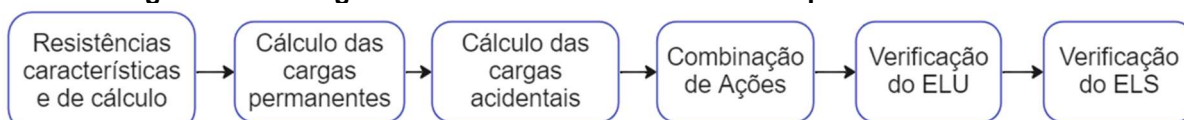
E, por fim, o subsistema de cobertura propôs manter as ripas e caibros, elementos dispensáveis dependendo do tipo de telha utilizada. Assim optou-se por ter os seguintes componentes: treliças, terças, caibros, ripas e telhas cerâmicas. Os procedimentos para o dimensionamento do sistema estrutural para a cobertura estão descritos na sequência.

3.3 Etapas do dimensionamento da cobertura

Para os componentes estruturais da cobertura optou-se pelo bambu laminado colado (BLC), como foi detalhado nos resultados. A seleção deste método construtivo levou em consideração, principalmente, a resistência à compressão e a trabalhabilidade, visto que as dimensões dos componentes de cobertura, como ripas e caibros, geralmente são pequenas.

A sequência seguida no dimensionamento da estrutura da cobertura foi resumida no fluxograma da Figura 38. O cálculo dos esforços resultantes não consta no fluxograma, porque a combinação de ações pode ser feita antes ou depois do cálculo dos esforços resultantes, dependendo do tipo de ação atuante na peça. Observa-se aqui que as ligações não foram dimensionadas neste trabalho.

Figura 38 - Fluxograma do dimensionamento dos componentes da cobertura



Fonte: elaboração própria (2022)

3.3.1 Cálculo para as resistências do bambu

A resistência à compressão paralela às fibras foi baseada nos resultados de ensaios de Carbonari *et al.* em 2017 para a espécie selecionada. A partir dessa

resistência, segundo a norma de bambu NBR 16828-1 (ABNT, 2020b), pôde-se calcular as demais resistências características conforme as fórmulas da Tabela 5.

Tabela 5 – Fórmulas para as resistências características do bambu

Propriedade	$f_{t0,k}$	$f_{v0,k}$	$f_{t90,k}$	$f_{M0,k}$	$E_b = E_{co}$
Valor	$1,3 f_{c0,k}$	$0,15 f_{c0,k}$	$0,1 f_{c0,k}$	$1,1 f_{c0,k}$	$300 f_{c0,k}$

Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

Os valores com k são característicos e os com d são de cálculo, como, por exemplo, f_{ck} é a resistência à compressão característica e f_{cd} , a resistência à compressão de cálculo. Para as verificações das normas, os valores utilizados são os de cálculo. Assim, a resistência à compressão de cálculo (f_{cd}) foi calculada conforme a Equação 01:

$$f_{cd} = k_{mod} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_m} \quad (01)$$

Onde:

f_{cd} - resistência à compressão de cálculo (MPa);

k_{mod} - coeficiente de modificação da resistência;

f_{ck} - resistência à compressão característica (MPa);

γ_m - coeficiente de minoração das resistências características do bambu.

Por ser um cálculo mais conservador do que a norma 7190-1 (ABNT, 2022a), o coeficiente k_{mod} foi calculado de acordo com a Equação 02 da norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020b):

$$k_{mod} = k_{mod_1} \times k_{mod_2} \times k_{mod_3} \times k_{mod_4} \quad (02)$$

Onde:

k_{mod} - coeficiente de modificação da resistência;

k_{mod1} - coeficiente que depende do tipo de carregamento [Tabela 2 da norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)];

k_{mod2} - coeficiente que depende da umidade relativa do ar no qual a estrutura vai estar inserida [Tabela 3 da norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)];

k_{mod3} - coeficiente que depende da qualidade do colmo, a norma recomenda que o valor seja de 0,8;

k_{mod4} - coeficiente que depende da quantidade de colmos que serão utilizados [Tabela 5 da norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)].

Os valores do coeficiente γ_m variam dependendo do tipo da resistência, para resistência à compressão o valor é de 2,0. A Tabela 6 apresenta os coeficientes de minoração das resistências características do bambu.

Tabela 6 – Coeficientes de minoração das resistências características do bambu

Propriedade	$f_{c0,k}$	$f_{t0,k}$	$f_{v0,k}$	$f_{t90,k}$	$f_{M,k}$
γ_m	2,0	1,8	2,0	2,0	1,8

Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

Após o cálculo das resistências, foram definidas as cargas permanentes e acidentais para ripas, caibros, terças e treliças, calculadas as combinações de ações e verificados os ELU e ELS.

3.3.2 Cálculo das cargas permanentes

A NBR 6120 (ABNT, 2019) foi utilizada para a determinação das ações atuantes. O cálculo das cargas permanentes foi obtido com base no peso próprio das telhas e do bambu. O peso próprio das telhas cerâmicas tipo italiana na superfície inclinada (incluindo a superposição, elementos de fixação e absorção de água) consta na Tabela 5 da norma NBR 6120 (ABNT, 2019) com 0,45 kN/m². E, de acordo com a norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020b), o peso específico do bambu é 0,80 kNm³.

As dimensões das ripas, dos caibros, das terças e das treliças e as distâncias entre elas, utilizadas para o dimensionamento, foram pré-definidas e utilizadas nos cálculos para verificar se esses valores atendem às normas.

Para o dimensionamento dos componentes da estrutura, as áreas das seções transversais foram calculadas conforme as Equações 03.

$$A = b \times h \quad (03)$$

Onde:

A - área da seção transversal (m²);

b - base da peça (m);

h - altura da peça (m).

Após isso, a carga permanente foi calculada. No caso das ripas, ela é composta pelo peso das telhas e pelo peso próprio das ripas. Esses valores devem estar em kN/m. Assim, o peso específico das telhas - em kN/m² - foi multiplicado pela distância entre as ripas - em metros. De acordo com o catálogo da empresa Top Telhas (2022), a galga da telha, isto é, a distância entre as ripas é de 35,4 cm. Já para o peso próprio das ripas, as suas dimensões em metros foram multiplicadas pelo peso específico do bambu em kN/m³.

O dimensionamento dos caibros foi feito de forma análoga às ripas, sendo acrescentado à carga permanente o peso próprio dos caibros acrescido de 10% para considerar o carregamento dos elementos de ligação (TEREZO; FRAZZON, 2003). O valor utilizado relacionado à distância para transformar as cargas em kN/m é a distância entre os caibros.

Nas cargas permanentes atuantes nas terças também foi acrescentado 10% para prever os elementos de ligação ao peso próprio das terças, ripas e caibros e ao peso das telhas (TEREZO; FRAZZON, 2003). A distância entre as terças foi usada para transformar as cargas em kN/m.

No cálculo da carga permanente da treliça é necessário acrescentar o peso próprio da treliça ao peso das ripas, caibros, terças e telhas e ao 10% das ligações. Para isso a fórmula de Howe (Equação 04) foi utilizada:

$$gt = 0,0245 \times (1 + 0,33 \times l) \quad (04)$$

Onde:

gt - peso próprio da treliça (kN/m²);

l - tamanho da treliça (m).

Diferentemente dos demais componentes, para o dimensionamento da meia treliça as cargas precisam ser concentradas em kN, então, as cargas permanentes e acidentais devem ser multiplicadas por uma área de influência, a qual é composta pela multiplicação entre a distância entre as treliças e a distância entre os montantes da treliça. Para os nós das extremidades, essa área é dividida pela metade. Com isso definido, pôde-se avançar para próxima etapa do fluxograma, o cálculo das cargas acidentais, divididas entre vento e sobrecarga.

3.3.3 Cálculo das cargas acidentais de vento

A carga acidental do vento foi calculada antes dos dimensionamentos dos componentes da cobertura – pois, quando o vento é de sucção, não é considerado no caso de telhas cerâmicas. Isso se deve, de acordo com Moliterno (2010, p. 173), pelas telhas cerâmicas não serem amarradas ou fixadas por meio de pregos na estrutura, então o vento de sucção não terá efeito na estrutura. O cálculo do vento foi feito conforme a NBR 6123 (ABNT, 1988), auxiliada pelo *software* Visual Ventos.

No início foi calculada a velocidade característica do vento (V_k) multiplicando a velocidade básica do vento (V_0) pelos coeficientes S_1 , S_2 e S_3 . A velocidade básica do vento é estipulada a partir de isopleias que variam conforme a localização da obra. O coeficiente S_1 é referente à topografia do terreno. Já o fator S_2 , é referente a rugosidade e é dividido em classes e categorias. A categoria III e a classe A representam o terreno desta pesquisa, sendo a categoria III: “terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas” e a classe A: “todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estrutura sem vedação; toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m” (ABNT, 1988). Para o coeficiente S_3 refere-se ao fator de ocupação da construção.

Com a velocidade característica do vento foi calculada a sua pressão dinâmica através da multiplicação entre 0,613 por V_k ao quadrado. Após isso, verificaram-se os coeficientes de pressão externa (C_{pe}) e interna (C_{pi}) para os ventos de 0° e de 90° para enfim obter os esforços resultantes. Para o cálculo do coeficiente de pressão interna, tem-se quatro faces igualmente permeáveis, então, os dois c_{pi} são 0,00 e -0,30.

3.3.4 Cálculo das cargas acidentais de sobrecarga

No caso das cargas acidentais, segundo a norma NBR 6120 (ABNT, 2019) “todo elemento isolado de coberturas [...] deve ser projetado para suportar, na posição mais desfavorável, uma carga concentrada de 1 kN, além do carregamento permanente”. Essa carga pontual deve ser utilizada somente para o dimensionamento no Estado-Limite Último.

Pelo fato das ripas possuírem uma seção transversal pequena, o valor de 1 kN é considerado alto, portanto, não foi considerado neste caso. Deste modo, a carga acidental considerada foi a sobrecarga de 0,25 kN/m² para coberturas com inclinação maior do que 5% conforme a norma NBR 6120 (ABNT, 2019). Para encontrar a carga variável por metro linear esse valor de 0,25 kN/m² foi multiplicado pela galga.

Para as cargas acidentais dos caibros deve ser considerada a que tenha os maiores esforços solicitantes entre a carga pontual de 1 kN e a sobrecarga de 0,25 kN/m². Essa carga variável foi transformada para metro linear, multiplicando pela distância entre os caibros. Assim, foram calculados os esforços resultantes de ambas as cargas. O momento fletor para a carga concentrada foi calculado conforme a Equação 05 e para a carga distribuída (sobrecarga) foi utilizada a Equação 12, L deve ser multiplicado pelo cosseno do ângulo, pois a combinação de ações foi feita após o cálculo dos esforços.

$$M = \frac{p \times L \times \cos\theta}{2} \quad (05)$$

Onde:

M - momento fletor máximo atuante na direção x (kNm);

p - carga total (kN);

θ - ângulo entre os banzos superior e inferior da treliça;

L - distância entre os apoios (m).

Para os esforços cortantes e normais as Equações 06 e 07 (para a carga concentrada), respectivamente, foram usadas. Já a Equação 16 foi usada para o esforço cortante da carga distribuída, sendo que a carga p foi multiplicada pelo

cosseno; para o esforço normal a mesma fórmula foi utilizada, porém com p multiplicado pelo seno.

$$V = \frac{p \times \cos\theta}{2} \quad (06)$$

Onde:

V - esforço cortante atuante (kN);

p - carga total (kN);

θ - ângulo entre os banzos superior e inferior da treliça.

$$N = \frac{p \times \sin\theta}{2} \quad (07)$$

Onde:

N - esforço normal atuante (kN);

p - carga total (kN);

θ - ângulo entre os banzos superior e inferior da treliça.

Os esforços resultantes das cargas acidentais das terças, semelhante aos caibros, foram calculados para determinar qual carga que deve ser usada (1 kN ou 0,25 kN/m²). Ademais, as terças estão sujeitas à flexão oblíqua, portanto, tem-se M_{xk} e M_{yk} . Para calcular M_{xk} - para as cargas concentradas - foi utilizada a Equação 05 e para M_{yk} , em vez do cosseno do ângulo, foi utilizado o seno. Já para o momento das cargas distribuídas, a Equação 12 foi usada, com L multiplicado pelo cosseno do ângulo para M_{xk} e pelo seno para M_{yk} . Com isso, pôde-se definir qual das duas cargas acidentais deve ser considerada no cálculo dos caibros e terças e a combinação de ações pôde ser feita.

Para a carga acidental das treliças, também foi necessário verificar qual carga gera esforços maiores. A sobrecarga de 0,25 kN/m² precisa ser multiplicada pelas áreas de influência dependendo da posição do nó. Já a carga concentrada de 1 kN deve ser posicionada em cima do nó central da treliça. Os esforços e as reações solicitantes referentes às cargas foram calculadas através do *software Ftool*. Depois de determinados os esforços, foi feita a combinação de ações.

3.3.5 Combinação de ações

Com base nas cargas permanentes e acidentais foram feitas as combinações de ações conforme a NBR 8681 (ABNT, 2003). A combinação de ações foi calculada conforme a Equação 08:

$$pd = \gamma_G \times F_G + \gamma_q \times F_q \quad (08)$$

Onde:

γ_G - coeficiente de ponderação para ações permanentes;

γ_q - coeficiente de ponderação para ações permanentes;

F_G - ações permanentes atuantes (kN/m);

F_q - ações acidentais atuantes (kN/m).

Como as ações permanentes e acidentais são cargas distribuídas (em kN/m) no caso das ripas, foi possível fazer a combinação antes de calcular os esforços normais, cortantes e momentos fletores. Para isso, foi necessário decompor as ações em componentes x e y multiplicando-as pelo cosseno (no eixo x) e pelo seno (no eixo y) do ângulo encontrado. Já para os caibros, terças e treliças, a combinação de ações foi feita depois do cálculo dos esforços solicitantes.

3.3.6 Verificações dos ELU e ELS

Para a verificação das peças da estrutura da cobertura de BLC, com seções retangulares, optou-se por usar a NBR 7190-1 - Projeto de estruturas de madeira - Parte 1: Critérios de dimensionamento (ABNT, 2022a). Porque a NBR 16828-1 (ABNT, 2020b) não é aplicável às estruturas de BLC, apenas às peças roliças de bambu.

Para verificar se as dimensões das peças resistem aos esforços solicitantes, o cálculo foi feito inicialmente com base na maior meia treliça, situação mais crítica. Pois, como as demais treliças terão menor vão, as dimensões das seções de cada peça podem ser menores. Assim, para toda a cobertura foram adotados os maiores valores encontrados para padronizar e facilitar a execução.

Em geral, as verificações do Estado-Limite Último (ELU) podem ser de tração, compressão, flexo-compressão, entre outros, dependendo da peça com base no tipo de reação gerada pela ação atuante. Já as do Estado-Limite de Serviço (ELS) são referentes aos deslocamentos (flecha) da peça.

As ripas estão sujeitas à flexão oblíqua, então existem duas condições do ELU que devem ser verificadas as quais estão presentes nas Equações 09 e 10:

$$\frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (09)$$

$$k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (10)$$

Onde:

$\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ - tensões máximas devidas às componentes de flexão atuantes segundo às direções principais da seção transversal da peça (kN/m²);

k_M - coeficiente de correção correspondente à forma geométrica da seção transversal considerada, sendo 0,7 para seções retangulares;

f_{wd} - resistência de cálculo que corresponde à tração ou à compressão dependendo da borda verificada (kN/m).

Para essas duas condições (Equações 09 e 10), foram verificadas tanto a borda comprimida quanto a tracionada. O $\sigma_{Mx,d}$ foi calculado conforme a Equação 11 e o $\sigma_{My,d}$ de forma análoga.

$$\sigma_{Mx,d} = \frac{M_{xd}}{W_x} \quad (11)$$

Onde:

$\sigma_{Mx,d}$ - tensão máxima devida à componente de flexão atuantes segundo uma das direções principais da seção transversal da peça (kN/m²);

M_{xd} - momento fletor máximo atuante na direção x (kNm);

W_x - o correspondente ao módulo de resistência da seção da peça na direção x (m³).

Pela carga ser distribuída para as ripas (em kN/m) os momentos fletores máximos de projeto em ambas direções foram calculados através da Equação 12. Para os momentos na direção x o resultado foi multiplicado pelo cosseno do ângulo e para a direção y, pelo seno.

$$M = \frac{p \times L^2}{8} \quad (12)$$

Onde:

M - momento fletor máximo atuante (kNm);

p - carga total na direção x (kN);

L - distância entre os apoios (m).

O módulo de resistência da seção da peça (W) e o momento de inércia (I) da seção transversal em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao plano de ação do momento fletor atuante foram calculados conforme as Equações 13 e 14.

$$W = \frac{I}{y} \quad (13)$$

Onde:

W - o módulo de resistência da seção da peça (m^3);

I - momento de inércia da seção transversal (m^4);

y - distância da linha neutra até a borda comprimida ou tracionada (m).

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad (14)$$

Onde:

I - momento de inércia da seção transversal (m^4);

b - base da peça (m);

h - altura da peça (m).

Se a carga total (p) é uma carga característica, o momento resultante será característico também - da mesma forma, se a carga for de cálculo, o momento será de cálculo. Caso o cálculo dos esforços solicitantes seja feito antes da combinação de ações, deve-se utilizar valores característicos; caso contrário, valores de cálculo devem ser usados. Para as ripas, a distância entre os apoios é a distância entre os caibros.

Além disso, foi necessário verificar o cisalhamento longitudinal. Para seções retangulares, a Equação 15 indica a condição que deve ser respeitada:

$$\tau_d = 1,5 \times \frac{V_d}{A} \leq f_{V0,d} \quad (15)$$

Onde:

τ_d - máxima tensão de cisalhamento atuando no ponto mais solicitado da peça (kN/m^2);

V_d - força cortante na seção (kN);

A - área da seção (m^2);

$f_{V0,d}$ - resistência de cisalhamento de cálculo (kN/m^2).

Através dos valores obtidos pela combinação de ações, a força cortante V_d em x e em y (calculada de forma semelhante ao eixo x) foi calculada por meio da Equação 16 para as ripas.

$$V_{x,d} = \frac{p_{x,d} \times L}{2} \quad (16)$$

Onde:

$V_{x,d}$ - força cortante atuante na direção x (kNm);

$p_{x,d}$ - carga total na direção x (kN);

L - distância entre os apoios (m).

Como a flexão é oblíqua, tem-se $\tau_{x,d}$, $\tau_{y,d}$ e para o τ_d deve-se calcular a raiz quadrada entre $\tau_{x,d}$ ao quadrado e $\tau_{y,d}$ ao quadrado. Com isso, as verificações do ELU para as ripas foram feitas.

Ainda, de acordo com a norma NBR 7190-1 (ABNT, 2022a), no ELS é necessário verificar os deslocamentos máximos (flechas), os quais são divididos em três. Para vigas biapoiadas, o deslocamento instantâneo máximo é de $L/300$; deslocamento máximo final é de $L/150$ e deslocamentos resultantes final é $L/250$, sendo L a distância entre os apoios.

As flechas instantâneas foram calculadas conforme a Equação 17:

$$\delta_{inst} = \sum_{i=1}^m \delta_{inst,Gi,k} + \delta_{inst,Q1,k} + \sum_{j=2}^n \varphi_{1j} \delta_{inst,Qj,k} \quad (17)$$

Onde:

δ_{inst} - deslocamento instantâneo (m);

$\sum_{i=1}^m \delta_{inst,Gi,k}$ - somatório das flechas instantâneas causadas pelas ações permanentes (m);

$\delta_{inst,Q1,k}$ - deslocamentos instantâneos causados pelas ações acidentais principais (m);

$\sum_{j=2}^n \delta_{inst,Qj,k}$ - deslocamentos instantâneos causados pelas demais ações acidentais (m);

φ_{1j} - fator de redução para as ações variáveis [(Tabela 6 da norma NBR 8681 (ABNT, 2003))].

Tem-se apenas uma ação acidental para todos os componentes, então a última parte da equação foi desconsiderada. A Equação 18 para calcular a flecha para as cargas distribuídas - as quais podem ser permanentes ou acidentais - é:

$$\delta = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I} \quad (18)$$

Onde:

δ - deslocamento (m);

q - carga distribuída atuante (kN/m);

L - distância entre os apoios (m);

E - módulo de elasticidade (kN/m²);

I - momento de inércia (m⁴).

Depois, as flechas finais foram calculadas conforme a Equação 19:

$$\delta_{fin} = \sum_{i=1}^m \delta_{fin,Gi,k} + \sum_{j=2}^n \delta_{fin,Qj,k} \quad (19)$$

Onde:

δ_{fin} - deslocamento final (m);

$\sum_{i=1}^m \delta_{fin,Gi,k}$ - somatório das flechas instantâneas causadas pelas ações permanentes (m);

$\sum_{j=2}^n \delta_{fin,Qj,k}$ - somatório das flechas finais causadas pelas ações acidentais (m).

As flechas finais causadas pelas ações permanentes e acidentais foram calculadas pelas Equações 20 e 21:

$$\delta_{fin,G,k} = \delta_{inst,Gi,k} (1 + \emptyset) \quad (20)$$

Onde:

$\delta_{fin,G,k}$ - deslocamento final característico causado pelas ações permanentes (m);

$\delta_{inst,G,k}$ - deslocamento instantâneo característico causado pelas ações permanentes (m);

\emptyset - coeficiente de fluência.

$$\delta_{fin,Q,k} = \delta_{inst,Qj,k} \times \varphi_2 \times (1 + \emptyset) \quad (21)$$

Onde:

$\delta_{fin,Q,k}$ - deslocamento final característico causado pelas ações acidentais (m);

$\delta_{inst,Qj,k}$ - deslocamento instantâneo característico causado pelas ações acidentais (m);

φ_2 - coeficiente de redução para as ações variáveis [Tabela 6 da norma NBR 8681 (ABNT, 2003)];

\emptyset - coeficiente de fluência.

Posteriormente, os valores encontrados para as flechas foram comparados com os máximos definidos pela norma 7190-1 (ABNT, 2022a). E assim os cálculos para as ripas foram finalizados.

Depois, foi feita a verificação do ELU para os caibros, que é de flexo-compressão e da estabilidade lateral da peça. Como é flexo-compressão, tem-se duas condições que devem ser atendidas para a borda comprimida e para a borda tracionada, as quais estão presentes nas Equações 22 e 23:

$$\left(\frac{\sigma_{N,d}}{f_{wd}}\right)^2 + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (22)$$

$$\left(\frac{\sigma_{N,d}}{f_{wd}}\right)^2 + k_M \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{wd}} + \frac{\sigma_{My,d}}{f_{wd}} \leq 1 \quad (23)$$

Onde:

$\sigma_{N,d}$ - tensões máximas de cálculo devido ao esforço normal (kN/m²);

$\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ - tensões máximas de cálculo devidas às componentes de flexão atuantes segundo às direções principais da seção transversal da peça (kN/m²);

k_M - coeficiente de correção correspondente à forma geométrica da seção transversal considerada, sendo 0,7 para seções retangulares;

f_{wd} - resistência de cálculo que corresponde à tração ou à compressão dependendo da borda verificada (kN/m).

As tensões $\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ foram calculadas conforme a Equação 11. Já as tensões de cálculo devido ao esforço normal são calculadas conforme a Equação 24:

$$\sigma_{N,d} = \frac{N_d}{A} \quad (24)$$

Onde:

$\sigma_{N,d}$ - tensões máximas de cálculo devido ao esforço normal (kN/m²);

N_d - esforço normal de cálculo atuante (kN);

A - área da seção transversal (m²).

Já para a estabilidade lateral deve ser verificado se a esbeltez relativa em x em y ($\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$) são menores ou iguais a 0,30 para peças comprimidas e flexocomprimidas. A esbeltez relativa na direção x é calculada conforme a Equação 25 e essa esbeltez na direção y é calculada de forma análoga.

$$\lambda_{rel,x} = \frac{\lambda_x}{\pi} \times \sqrt{\frac{f_{c0,k}}{E_{0,05}}} \quad (25)$$

Onde:

$\lambda_{rel,x}$ - índice de esbeltez relativa correspondente à flexão na direção x;

λ_x - índice de esbeltez segundo a direção x;

$E_{0,05}$ - valor característico do módulo de elasticidade medido na direção paralela às fibras (MPa);

$f_{c0,k}$ - valor característico de resistência à compressão (MPa).

O índice de esbeltez λ é calculado conforme a Equação 26.

$$\lambda = \frac{L_0}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \quad (26)$$

Onde:

λ - índice de esbeltez na direção analisada;

L_0 - comprimento de flambagem (m);

I - momento de inércia na direção analisada (m^4);

A - área da seção transversal (m^2).

O comprimento de flambagem foi calculado multiplicando a distância entre os apoios por um coeficiente K_E presente na Tabela 7 da norma NBR 7190-1 (ABNT, 2022a), o qual depende das vinculações das extremidades das barras. Para os caibros, as rotações são livres em ambos os sentidos, então o valor do coeficiente é 1,0. O comprimento entre os apoios é a distância entre as terças.

Para o módulo de elasticidade ($E_{0,05}$), o valor médio do módulo de elasticidade foi multiplicado por 0,7. Como os valores obtidos para $\lambda_{rel,x}$ e

$\lambda_{rel,y}$ foram maiores do que 0,30, foi necessário verificar a estabilidade através das Equações 27 e 28.

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cx} \times f_{c0,k}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (27)$$

$$\frac{\sigma_{Nc,d}}{k_{cy} \times f_{c0,k}} + \frac{\sigma_{Mx,d}}{f_{m,d}} + k_M \frac{\sigma_{My,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (28)$$

Onde:

$\sigma_{N,d}$ - tensões máximas devido ao esforço normal atuante (kN/m²);

$\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ - tensões máximas devidas às componentes de flexão atuantes segundo às direções principais da seção transversal da peça (kN/m²);

k_M - coeficiente de correção correspondente à forma geométrica da seção transversal considerada, sendo 0,7 para seções retangulares;

$f_{m,d}$ - resistência de cálculo à flexão (kN/m²);

k_{cx} e k_{cy} - coeficientes calculados conforme a Equação 29.

$$k_{cx} = \frac{1}{k_x + \sqrt{(k_x)^2 - (\lambda_{rel,x})^2}} \quad (29)$$

Onde:

$\lambda_{rel,x}$ - índice de esbeltez relativa correspondente à flexão na direção x;

k_{cx} e k_{cy} - coeficientes para a verificação da estabilidade;

k_x - coeficientes calculados com a Equação 30:

$$k_{cx} = 0,5 \times [1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,x} - 0,3) + (\lambda_{rel,x})^2] \quad (30)$$

$\lambda_{rel,x}$ - índice de esbeltez relativa correspondente à flexão na direção x;

β_c - fator para as peças estruturais que atendam aos limites de divergência de alinhamento;

k_x - coeficiente para calcular o k_{cx} .

O k_y e o k_{cy} são calculados de forma semelhante ao k_x e o k_{cx} . Para madeiras lameladas e laminadas, o fator β_c é 0,1 (ABNT, 2022a).

Também foi feita a verificação do cisalhamento utilizando a condição da Equação 15.

Além disso, as verificações relacionadas às flechas foram feitas através das mesmas fórmulas usadas nas ripas (Equações 17 a 21). Todavia, a carga acidental de 1 kN foi considerada somente no ELU e as flechas fazem parte da verificação do ELS. Assim, a carga acidental de sobrecarga foi considerada para os cálculos e foi multiplicada pela distância entre as terças.

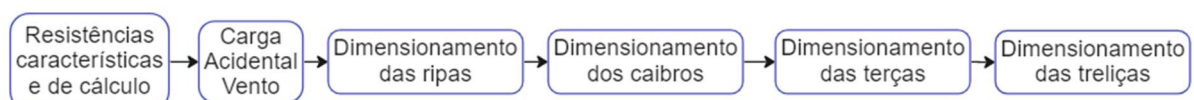
Para o ELU das terças, a flexão oblíqua e o cisalhamento foram verificados utilizando as mesmas equações das ripas. As condições que devem ser atendidas para a borda comprimida e para a borda tracionada são as das Equações 09 e 10 e para o cisalhamento a da Equação 15. Para os deslocamentos, as Equações 17 a 21 foram usadas, considerando a carga acidental de sobrecarga, multiplicada pela distância entre as terças.

Para as treliças, foram feitas duas verificações de compressão e tração conforme a Equação 24. Nos casos de compressão foi a condição é que $\sigma_{Nc,d}$ deve ser menor ou igual ao f_{cd} , já nos casos de tração o cálculo foi feito de forma semelhante, o $\sigma_{Nt,d}$ deve ser menor ou igual ao f_{td} , com os valores utilizados em módulo nas verificações.

Além disso, foi necessário verificar a estabilidade lateral das peças que sofrem compressão. As verificações do $\lambda_{rel,x}$ e do $\lambda_{rel,y}$ deram valores maiores do que 0,3, fazendo-se obrigatório verificar as condições presentes nas Equações 27 e 28.

Com os métodos utilizados explicados, os resultados encontrados serão apresentados e analisados. Os resultados do dimensionamento foram organizados de acordo com cada componente para que sua compressão e visualização se tornem mais fáceis na ordem do fluxograma (Figura 39).

Figura 39 - Fluxograma dimensionamento da cobertura



Fonte: elaboração própria (2022)

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados encontrados para o projeto da habitação, seleção dos seus subsistemas e dimensionamento da estrutura da cobertura e as análises feitas a partir deles.

4.1 Projeto

A espécie de bambu escolhida para esta habitação foi a *Dendrocalamus asper* por ser a espécie com a finalidade estrutural mais utilizada pelas empresas que responderam ao questionário. A escolha também é apoiada pela pesquisa bibliográfica realizada. *Carbonari et al.* (2017) encontraram o valor de 51,15 MPa para a resistência à compressão paralela às fibras de colmos com nós.

Os bambus dessa espécie podem alcançar até 30 m, com diâmetro entre 08 e 20 centímetros e internós entre 20 e 45 centímetros conforme Hossain MA *et al.* (2018). Já a espessura das paredes do colmo é de 04 centímetros em média (OSTAPIV; LIBRELOTTO, 2019, p. 19). Todo elemento de bambu deve ser previamente tratado para manter a durabilidade do material na construção.

Conforme as especificidades do bambu enquanto material de construção e questões de racionalização da construção, as principais diretrizes estabelecidas para este projeto foram: a concentração das paredes hidráulicas, para facilitar nas possíveis soluções técnicas mistas ao bambu e para otimização na execução desse subsistema; a colocação de aberturas em paredes opostas nos ambientes para garantir a ventilação cruzada, visando reduzir os custos com climatização e manter os elementos de bambu secos; um beiral significativo e a elevação da habitação do solo para a proteger os elementos externos de bambu contra as intempéries.

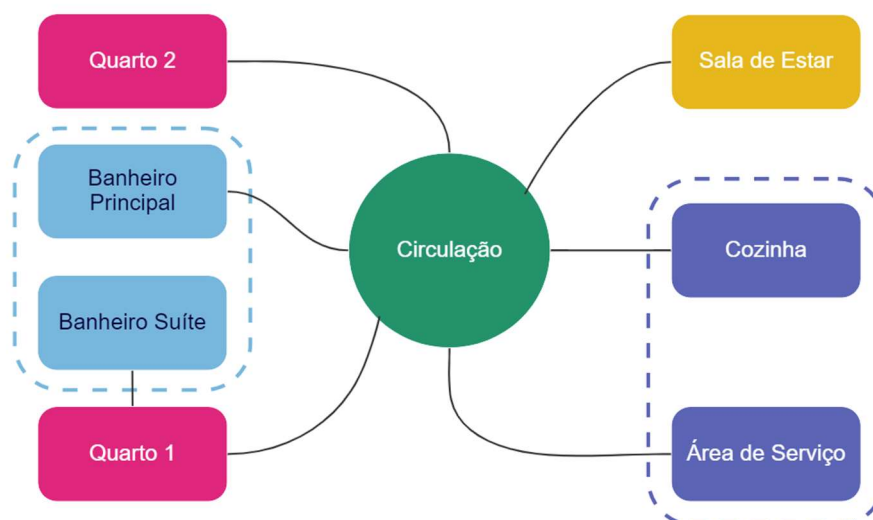
Foi elaborado um programa de necessidades (Quadro 2) com base nas diretrizes do projeto e na norma NBR 15575-1 (ABNT, 2021), com os ambientes, suas necessidades funcionais, habitabilidade e sistemas e instalações. Esse programa de necessidades permitiu a confecção de um diagrama (Figura 40) mostrando a circulação e os ambientes que precisam estar próximos na habitação.

Quadro 2 - Programa de Necessidades

Ambiente	Necessidades Funcionais	Iluminação	Habitabilidade	Sistemas e Instalações
Sala de Estar	Estar perto dos dormitórios	Artificial e natural	Social	Climatização e elétrica
Quarto 1	Estar próximo à sala	Artificial e natural	Privado	Climatização e elétrica
Quarto 2	Estar próximo à sala	Artificial e natural	Privado	Climatização e elétrica
Cozinha	Estar perto da área de serviço	Artificial e natural	Social	Elétrica e hidráulica
Banheiro Principal	Estar perto dos dormitórios	Artificial e natural	Social	Elétrica e hidráulica
Banheiro Suíte	Estar perto dos dormitórios	Artificial e natural	Privado	Elétrica e hidráulica
Área de Serviço	Estar próximo à cozinha	Artificial e natural	Social	Elétrica e hidráulica

Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 40 - Diagrama de interação dos ambientes



Fonte: elaboração própria (2022)

A sala de estar foi posicionada na entrada juntamente com a cozinha para melhor circulação e próxima ao dormitório 2. Já a área de serviço está compartilhando uma parede com a cozinha visando concentrar os pontos hidráulicos, bem como os banheiros da suíte e o banheiro principal da casa. Inicialmente, conforme o diâmetro do colmo da espécie de bambu selecionada, as paredes foram definidas com espessura de 20 cm para os estudos e a definição do *layout*. O projeto da habitação para uma família de quatro pessoas resultou numa área de 64,60 m², conforme a Figura 41 e a Tabela 7, atendendo as dimensões mínimas exigidas em norma.

Tabela 7 - Dimensões adotadas

Ambiente	Dimensões [m]		Área [m ²]	Área da janela [m ²]
Sala de Estar	3,00	2,60	7,80	1,32
Dormitório 1	3,90	2,70	10,53	2,64
Dormitório 2	3,50	2,40	8,40	2,64
Cozinha	3,20	2,50	8,00	1,32
Banheiro Principal	2,30	1,20	2,76	0,30
Banheiro Suíte	2,30	1,10	2,53	0,30
Área de Serviço	3,00	2,70	8,10	2,64

Fonte: elaboração própria (2022)

Conforme a Orientação Técnica da Vigilância Sanitária da Prefeitura de Florianópolis (PMF, 2021b), para residências unifamiliares o consumo diário de água é de 200 L per capita, a contribuição diária de esgoto é de 80% do consumo diário de água e a população é de duas pessoas por dormitório. Assim, tem-se 640 L de consumo de água diário e 1280 L para dois dias. Para isso, serão utilizadas duas caixas de 750 L, que possuem as dimensões máximas de: 1308,0 mm de diâmetro e 861,7 mm de altura. Foi deixado também um espaço para manutenção de 60 cm em volta de cada uma.

Após um estudo de massa e *layout*, obteve-se a volumetria da habitação, conforme as Figuras 42, 43, 44 e 45. O pé direito da edificação é 3,80 m e o pavimento tem uma elevação do solo de 50 cm, como recomendado pelas bibliografias e pela empresa Y (Apêndice C).

Figura 42 – Fachada frontal da habitação



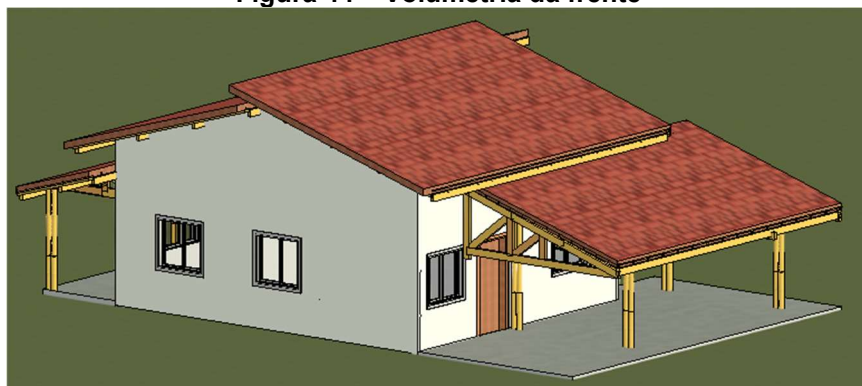
Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 43 – Fachada dos fundos da edificação



Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 44 – Volumetria da frente



Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 45 – Volumetria dos fundos



Fonte: elaboração própria (2022)

4.2 Subsistemas e componentes da habitação

Para o subsistema estrutural, foi escolhido o sistema pilar-viga com o bambu da espécie *Dendrocalamus asper* na sua forma natural roliça. Os pilares e as vigas foram estimados com colmos duplos, conforme as Figuras 46 e 47. A quantidade de colmos necessária para resistir aos esforços solicitantes não foi calculada. Assim

como a locação dos pilares foi estimada na planta da habitação, mas também precisa ser verificada em estudos futuros.

Figura 46 - Pilar selecionado



Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 47 - Viga selecionada



Fonte: elaboração própria (2022)

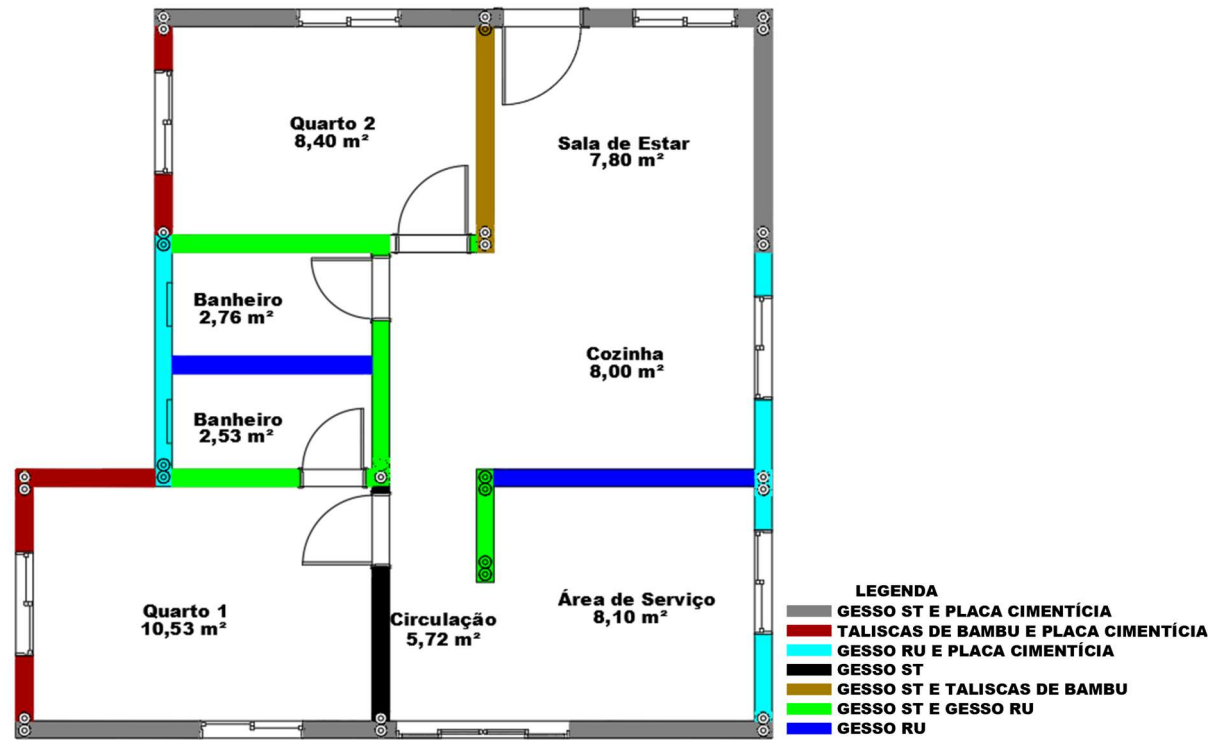
Sobre as vigas, tem-se as lajes de bambu processado em painel contraplacado ou laminado cruzado, de acordo com a Figura 16.

As paredes são formadas por painéis de vedação, não autoportantes. A parte central da vedação é uma ossatura de bambu laminado colado, preenchido com um material isolante termoacústico - como a lã de vidro. As camadas internas e externas de fechamento dessa ossatura variam conforme o ambiente.

Em geral, na camada externa da edificação, sobre a ossatura de bambu, tem uma chapa de OSB de bambu, uma membrana hidrófuga para proteção contra umidade externa e a placa cimentícia de acabamento. Já para as camadas do interior da casa, optou-se pelas placas de gesso acartonado ou taliscas usinadas de bambu. Para as áreas molhadas dos banheiros, área de serviço e cozinha foi utilizada uma placa de gesso acartonado resistente à umidade.

Assim, foram propostos sete tipos de composições para as paredes, com camadas de diferentes materiais conforme os ambientes. A localização de cada tipo de vedação está apresentada na Figura 48. Para as aberturas das esquadrias, ossatura de bambu deve apresentar vergas e contravergas.

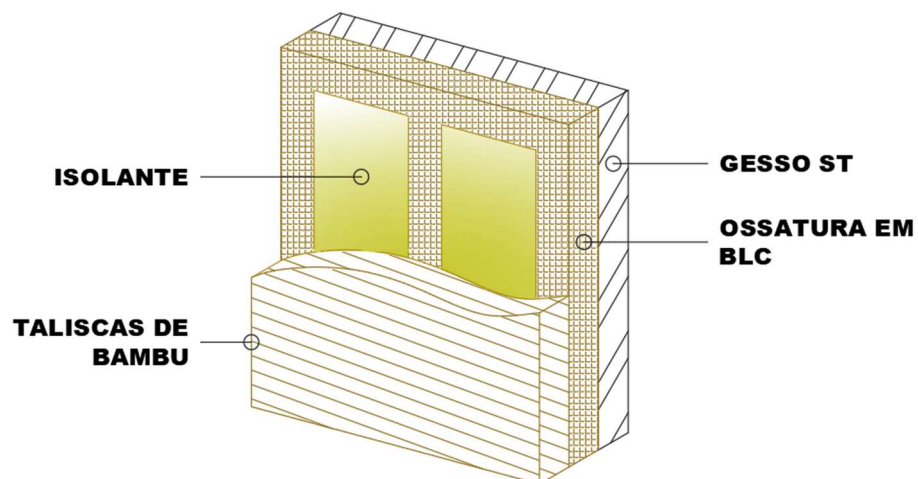
Figura 48 - Localização das paredes de vedação



Fonte: elaboração própria (2022)

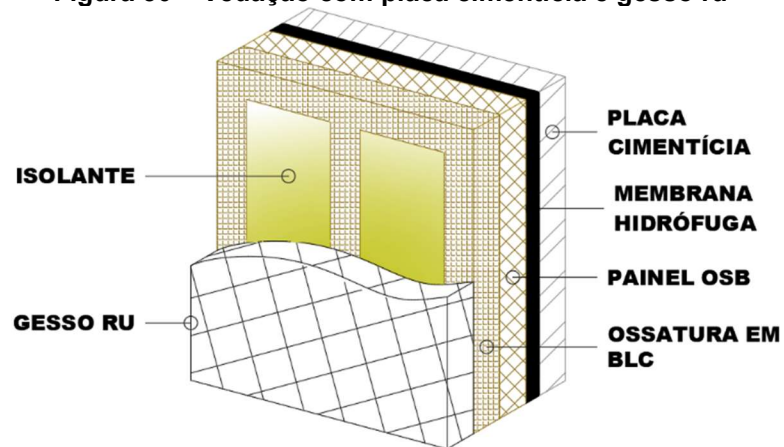
Os sete tipos de vedação estão representados pelas Figuras 49, 50, 51, 52, 53, 54 e 55. Nas figuras, “Gesso ST” é referente à placa de gesso acartonado para as áreas comuns e “Gesso RU” é referente à placa de gesso acartonado resistente à umidade.

Figura 49 – Vedação com as taliscas de bambu e o gesso st



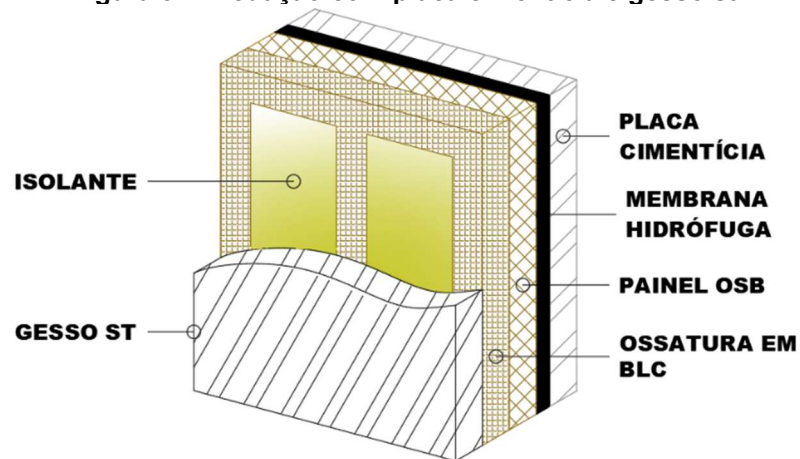
Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 50 – Vedação com placa cimentícia e gesso ru



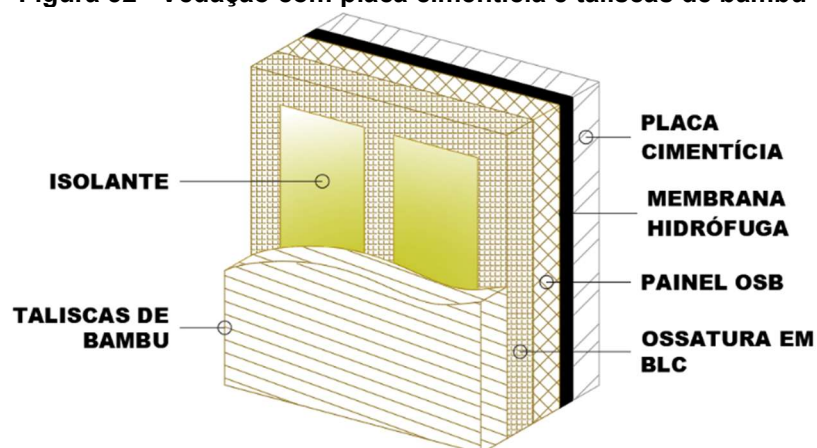
Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 51 - Vedação com placa cimentícia e gesso st



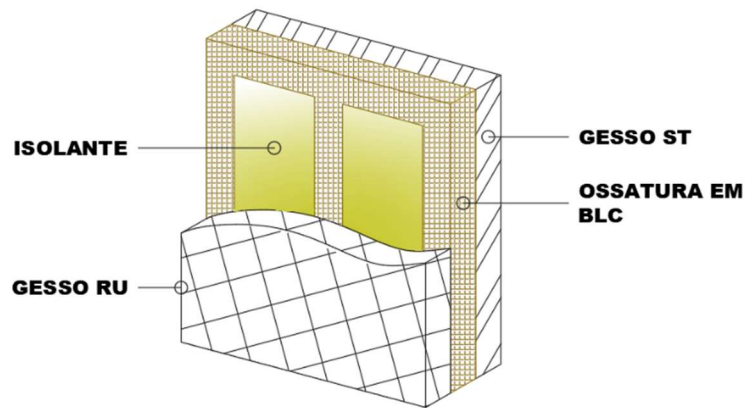
Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 52 - Vedação com placa cimentícia e taliscas de bambu



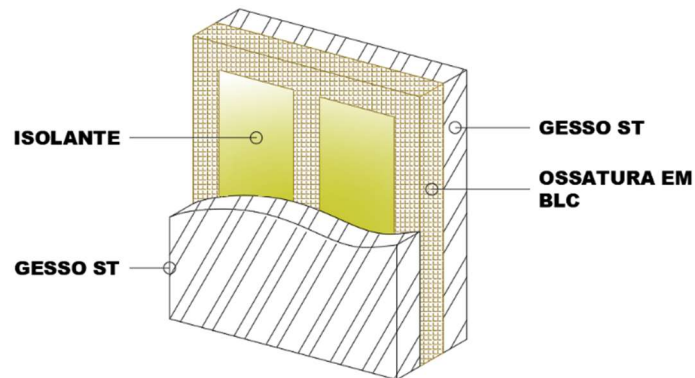
Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 53 - Vedação com gesso st e gesso ru



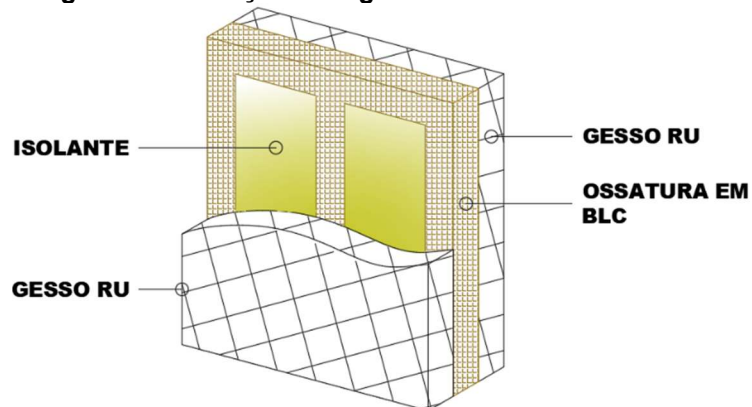
Fonte: elaboração própria (2022)

Figura 54 - Vedação com gesso st em ambos os lados



Fonte: elaboração própria (2022)

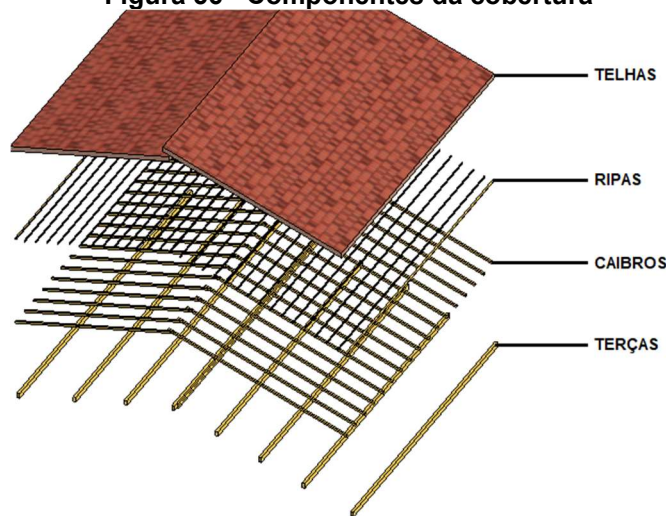
Figura 55 - Vedação com gesso ru em ambos os lados



Fonte: elaboração própria (2022)

Por fim, o subsistema da cobertura é composto por telhas cerâmicas e estrutura com ripas, caibros, terças e meias treliças (Figura 56). As telhas são cerâmicas do tipo italiana da Linha Mediterrânea da empresa Top Telhas.

Figura 56 - Componentes da cobertura

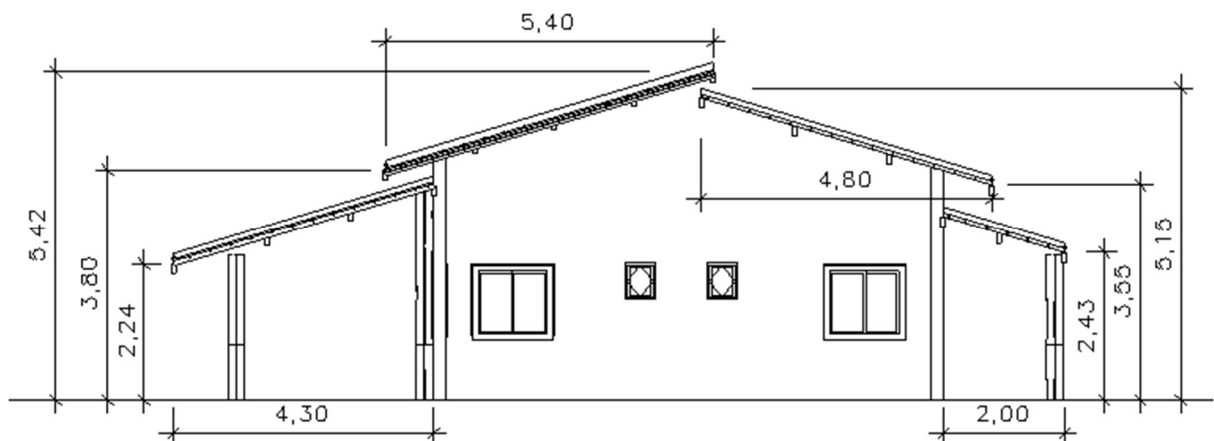


Fonte: elaboração própria (2022)

Para os elementos estruturais da cobertura foi selecionado o bambu laminado colado, como citado anteriormente, porque dentre suas vantagens destacam-se a facilidade de montagem, a homogeneidade e o aproveitamento de peças com pequenas dimensões, como as ripas. Os detalhes gerais do subsistema de cobertura serão apresentados no item 4.3 a seguir.

A partir do projeto da habitação, a cobertura foi dividida em quatro partes, com inclinações de 30%: a parte frontal, sobre a garagem; as duas partes do meio, cobrindo os ambientes interiores; e a parte de trás, cobrindo o pátio (Figura 57).

Figura 57 - Corte da cobertura destacando as 04 águas da cobertura

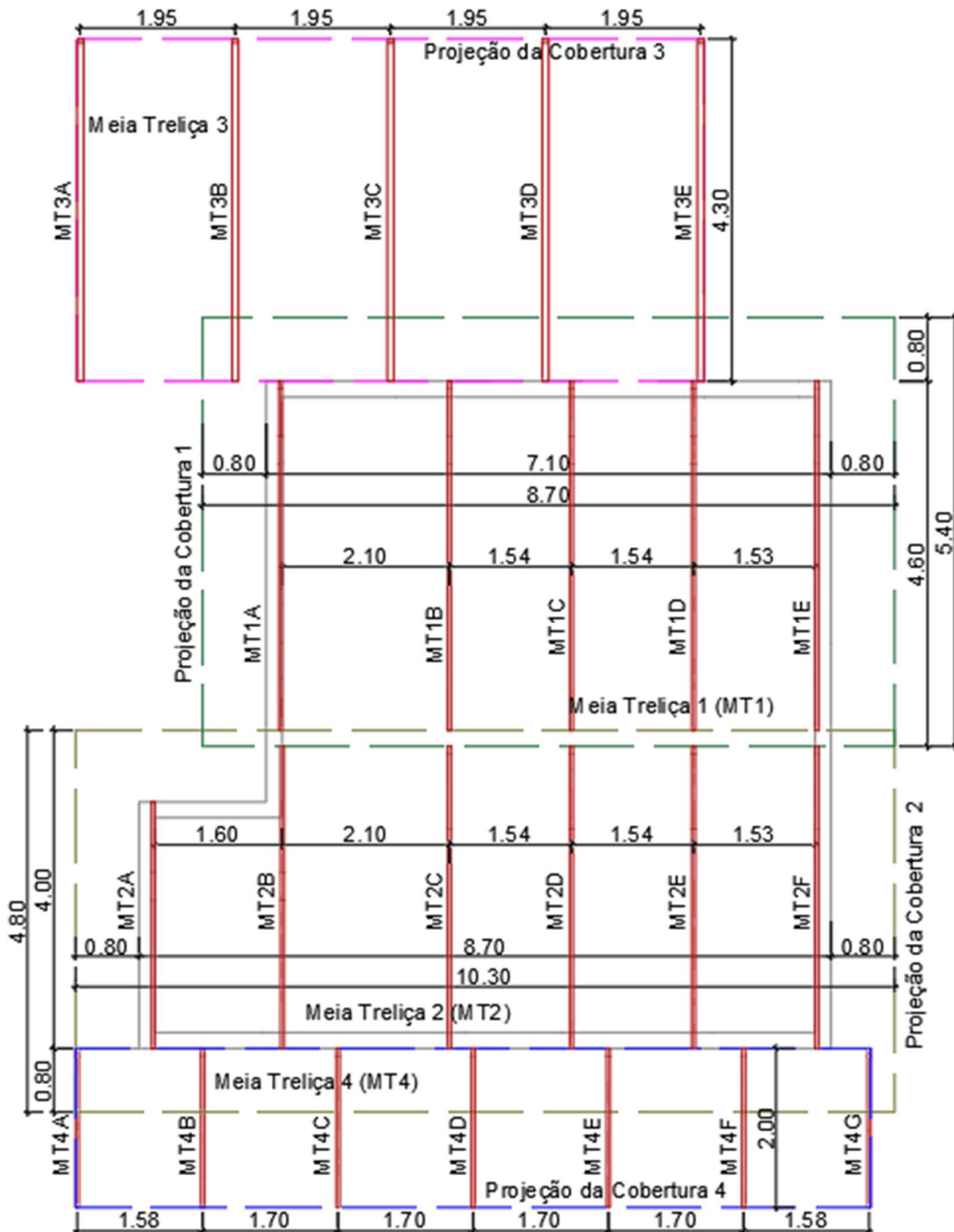


Fonte: Elaboração própria (2022)

A estrutura de ripas, caibros e terças estão sobre meias treliças (MT) do tipo *Howe*, posicionadas conforme a planta da cobertura na Figura 58. Destas, destaca-se aqui a MT1 que será referência para demonstrar o cálculo da cobertura.

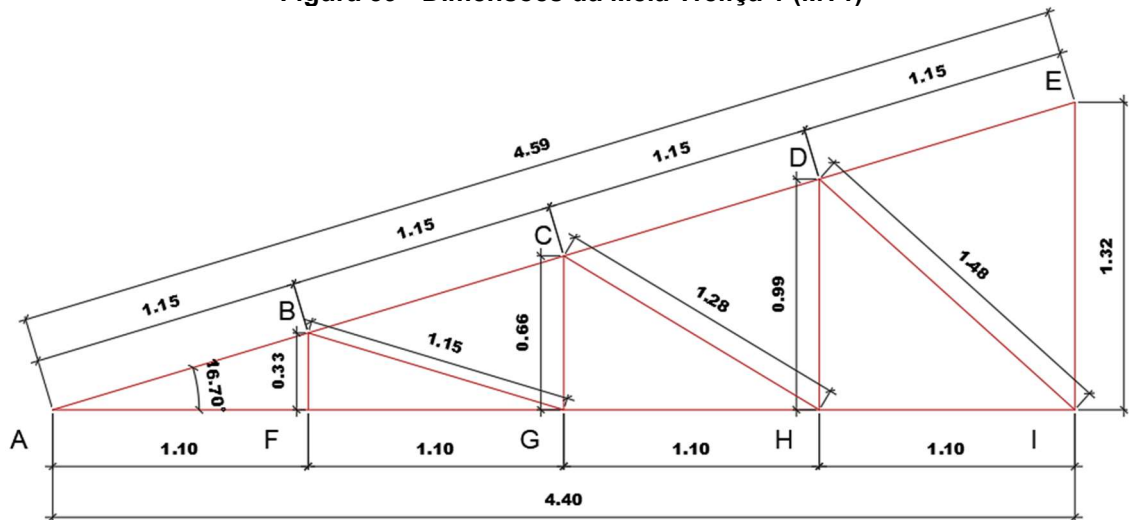
Conforme a Figura 59, a MT1 possui 04 montantes espaçados 1,10 m entre si totalizando um vão de 4,40m e 09 nós localizados entre 15 barras. O ângulo entre os banzos superior e o inferior da treliça é $16^{\circ}41'52''$ ou $16,70^{\circ}$. As demais meia treliças estão representadas pelas Figuras 86, 89 e 92 do Apêndice D.

Figura 58 - Planta da cobertura da habitação com as posições das meia treliças



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 59 - Dimensões da Meia Treliça 1 (MT1)



Fonte: Elaboração própria (2022)

4.3 Detalhamento e dimensionamento da cobertura da habitação

Esta etapa da pesquisa foi feita na seguinte ordem: resistências de cálculo do bambu, carga accidental do vento para a habitação e dimensionamento de ripas, caibros, terças e, por fim, treliças conforme o fluxograma já apresentado (Figura 39).

Conforme valores usuais para coberturas com estruturas de madeira, para estas peças foi feito um pré-dimensionamento de, conforme a Tabela 8:

Tabela 8 – Dimensões dos componentes estruturais da cobertura

Peça	Base [m]	Altura [m]
Ripas	0,05	0,02
Caibros	0,10	0,06
Terças	0,08	0,16
Peças da Meia Treliça Howe (MT)	0,08	0,16

Fonte: Elaboração própria (2022)

A distância entre as ripas é de 35,4 cm (Figura 60), a distância entre os caibros é de 50 cm (Figura 61) e as distâncias entre as terças varia conforme a meia treliça. Para a distância entre as treliças foi utilizado o valor de 2,10 m, por ser o maior crítico e o mais crítico do projeto.

Figura 60 - Distâncias entre as ripas e terças para a meia treliça 1

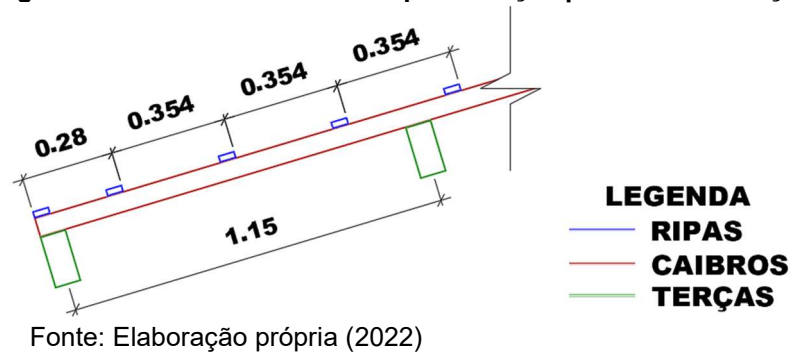
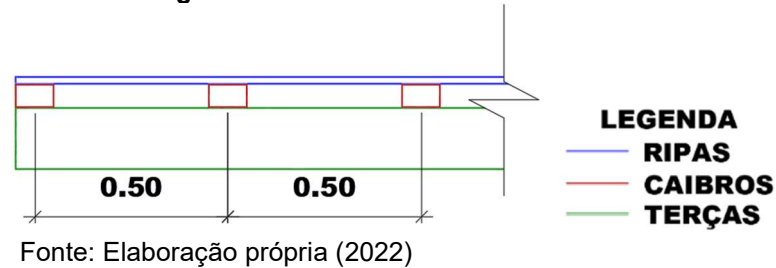


Figura 61 - Distâncias entre os caibros



4.3.1 Resistências de cálculo do bambu *Dendrocalamus asper*

Conforme citado anteriormente, a estrutura da cobertura é composta por elementos de seção retangulares de BLC da espécie *Dendrocalamus asper*. Sua classe de resistência é C50 (CARBONARI *et al.*, 2017) – apresentado na Tabela 2 da fundamentação teórica.

O valor utilizado para a resistência à compressão característico (f_{ck}) foi de 50 MPa e para o k_{mod1} foi de 0,7 porque a carga é permanente de longa duração. Segundo a EMBRAPA (2012) a umidade relativa do ar em Florianópolis é de 83%, ficando na segunda categoria (entre 75% e 85%), logo, o valor é de 0,80 para o k_{mod2} . Já para o k_{mod4} foi utilizado 1,00 porque não será utilizado mais de um colmo. A Tabela 9 abaixo apresenta os valores adotados para os k_{mod1} , k_{mod2} , k_{mod3} , k_{mod4} e o valor calculado (pela Equação 02) para o k_{mod} .

Tabela 9 – Os valores adotados para o k_{mod}

kmod	0,448
kmod1	0,70
kmod2	0,80
kmod3	0,80
kmod4	1,00

Fonte: Elaboração própria (2022)

Com base nos dados citados, foi calculada a resistência à compressão de cálculo através da Equação 01. O resultado obtido foi de 11,20 MPa conforme a Tabela 10 apresenta.

Tabela 10 – Valores para calcular a resistência à compressão de cálculo

fck [MPa]	50,00
kmod	0,448
γ_c	2,00
fcd [MPa]	11,20

Fonte: Elaboração própria (2022)

As demais resistências características do bambu, como a resistência à tração paralela às fibras ($f_{t0,k}$) e de cisalhamento paralelo às fibras ($f_{V0,k}$), foram calculadas a partir de resistência característica à compressão paralela às fibras conforme a Tabela 5. Já as resistências de cálculo foram determinadas de forma análoga à Equação 01, utilizada para calcular o valor de cálculo da resistência à compressão. O γ_m para calcular as demais resistências características do bambu estão apresentados na Tabela 6 e o kmod continua o mesmo. A Tabela 11 apresenta os valores característicos e de cálculo que serão utilizados no dimensionamento.

Tabela 11 - Resistências características do bambu

Peso específico [kN/m³]	0,80
fck [MPa]	50,00
fcd [MPa]	11,20
fc90k [MPa]	5,00
ft0k [MPa]	65,00
ftd [MPa]	16,18
fV0,k [MPa]	7,50
fV0,d [MPa]	1,68
Eco,m [MPa]	15000,00
Eco,ef [MPa]	6720,00
fMk [MPa]	55,00
fMd [MPa]	13,69

Fonte: Elaboração própria (2022)

4.3.2 Carga acidental do vento

Como a construção é em Florianópolis, o terreno está localizado entre as isopletras da velocidade básica de 40 a 45 m/s. Então, o valor adotado para a

velocidade básica do vento (V_0) é de 44 m/s. Como o terreno da edificação é plano, o fator topográfico S_1 é igual a 1,0, valor que é utilizado para terrenos planos ou levemente acidentados.

Enquanto que para o fator S_2 de rugosidade, a categoria III e a classe A representam o terreno, sendo 0,88 o valor utilizado para S_2 . Já para o fator S_3 , o terreno pertence ao grupo 2 de edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação, então o valor utilizado é de 1,0. Logo, o valor obtido para a velocidade característica do vento é de 38,72 m/s e para a pressão do vento é de 919,03 N/m².

Após isso, verificaram-se os coeficientes de pressão externa (C_{pe}) e interna (C_{pi}) para os ventos de 0° e de 90° e os resultados obtidos estão apresentados nas Figuras 62, 63, 64, 65, 66 e 67.

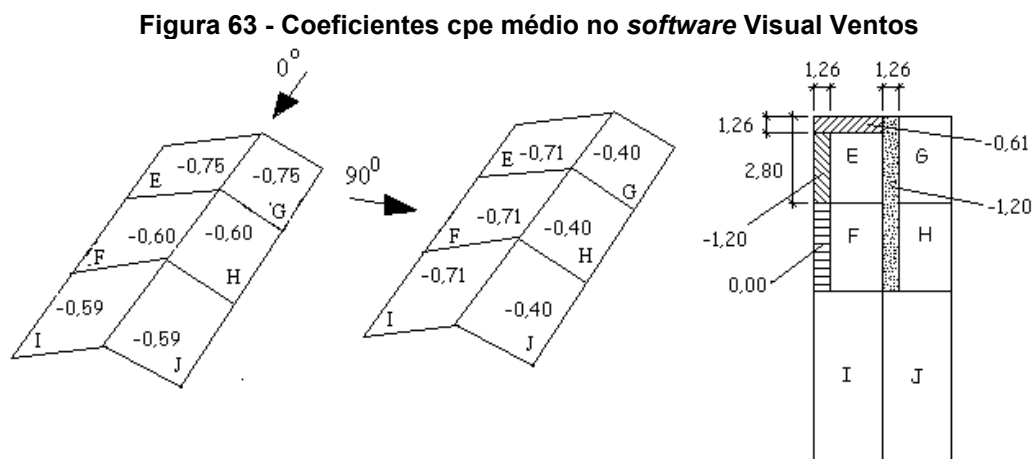
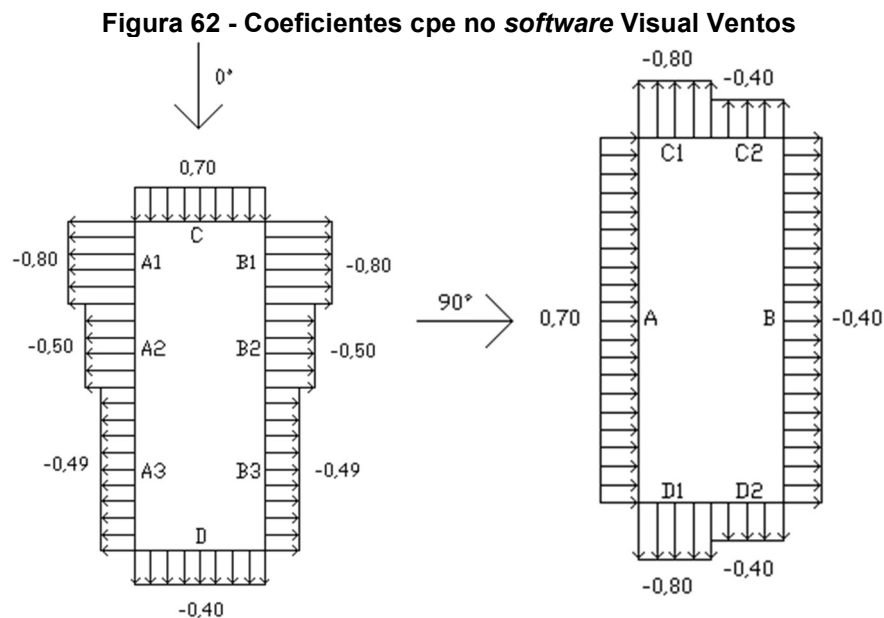
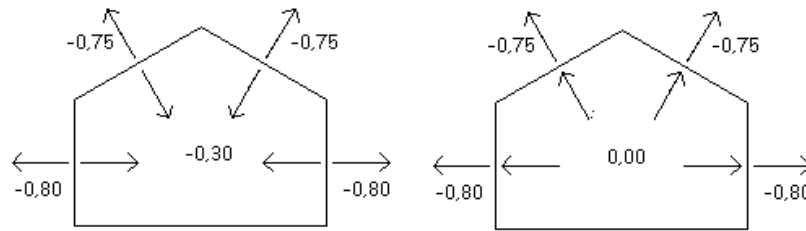


Figura 64 - Coeficientes cpi do Vento de 0° no software Visual Ventos

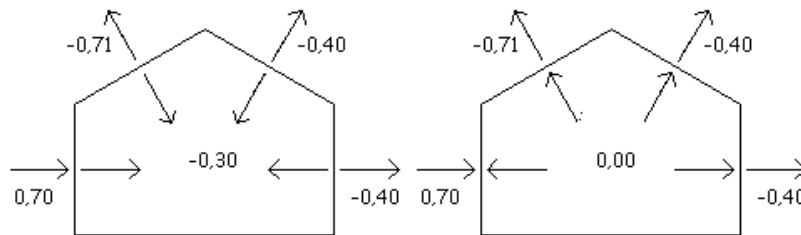


a) Cpi -0,30

Fonte: Elaboração própria (2022)

b) Cpi 0,00

Figura 65 - Coeficientes cpi do Vento de 90° no software Visual Ventos

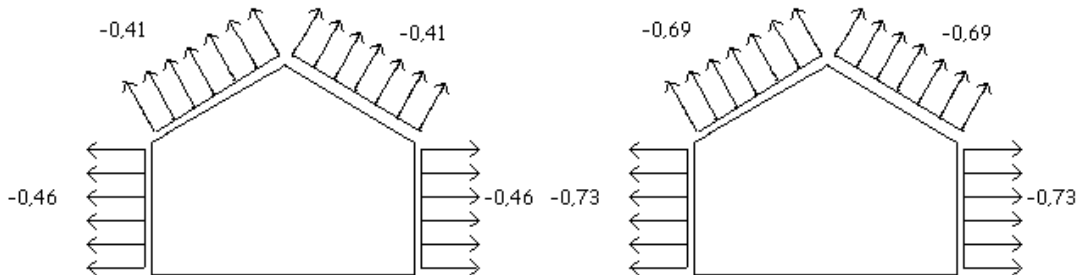


a) Cpi -0,30

Fonte: Elaboração própria (2022)

b) Cpi 0,00

Figura 66 - Esforços resultantes do Vento de 0° no software Visual Ventos

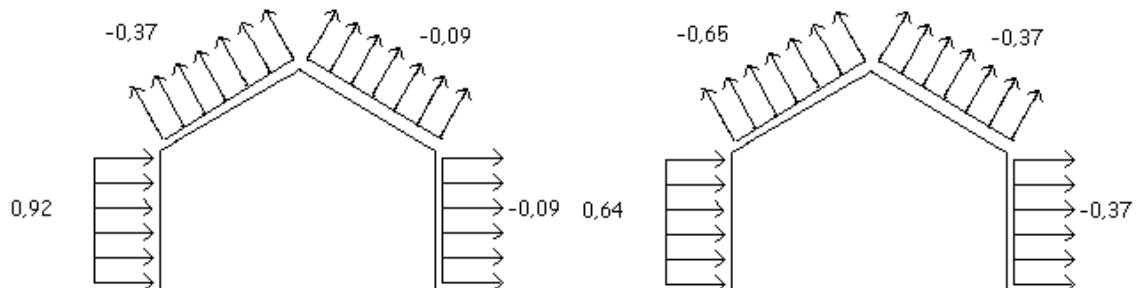


a) Cpi -0,30

Fonte: Elaboração própria (2022)

b) Cpi 0,00

Figura 67 - Esforços resultantes do Vento de 90° no software Visual Ventos



a) Cpi -0,30

Fonte: Elaboração própria (2022)

b) Cpi 0,00

A Figura 67 apresenta os esforços resultantes em kN/m^2 . Os valores negativos são referentes ao vento de sucção e os positivos ao de sobrepressão. Para a cobertura, tem-se apenas valores para vento de sucção. O valor adotado deve ser a situação mais desfavorável, com o maior valor (em módulo). Contudo, de acordo

com Moliterno (2010, p. 173), as telhas cerâmicas não são amarradas ou fixadas por meio de pregos na estrutura, então o vento de sucção não terá efeito em nenhuma estrutura, sendo assim desconsiderado para o dimensionamento.

4.3.3 Dimensionamento das ripas

Primeiro, com as dimensões da ripa, pôde-se calcular a área da seção transversal, o correspondente ao módulo de resistência da seção da peça (W) e o momento de inércia (I) da seção transversal em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao plano de ação do momento fletor atuante conforme as Equações 03, 13 e 14. Os resultados estão na Tabela 12.

Tabela 12 - Características da seção transversal das ripas

Base (b) [m]	0,05
Altura (h) [m]	0,02
Área (As) [m²]	0,001
Wx [m³]	0,000003
Wy [m³]	0,000008
Ix [m⁴]	0,00000003
Iy [m⁴]	0,00000021

Fonte: Elaboração própria (2022)

Após isso, foram determinadas as cargas permanentes sobre a ripa. Considerou-se o peso das telhas cerâmicas na superfície inclinada, incluindo superposição, elementos de fixação e absorção de água, de 0,45 kN/m², conforme a NBR 6120 (ABNT, 2019). E o peso próprio da ripa foi calculado conforme sua seção transversal e a densidade do bambu de 0,80 kN/m³. Os valores da carga permanente somaram 0,16 kN/m, conforme a Tabela 13.

Tabela 13 - Carga permanente das ripas

Carga Permanente - Ripa		
Telhas	Peso próprio [kN/m]	0,159
Ripas	Peso próprio [kN/m]	0,0008
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m]		0,16

Fonte: Elaboração própria (2022)

Como mencionado, o vento e a carga de 1 kN foram desconsiderados. Então, para a carga acidental foi considerada a sobrecarga de 0,25 kN/m² e esse valor de 0,25 kN/m² foi multiplicado pela galga (0,354 m). Então, o valor da sobrecarga é de 0,089 kN/m.

Na sequência, foi feita a combinação de ações. Para isso, as ações foram decompostas em componentes x e y. A Tabela 14 apresenta os valores de decompostos das cargas permanentes e acidentais, sendo G as cargas permanentes e q as acidentais.

Tabela 14 - Cargas nas ripas

Gx [kN/m]	0,154
Gy [kN/m]	0,046
qx [kN/m]	0,085
qy [kN/m]	0,026

Fonte: Elaboração própria (2022)

De acordo com a norma NBR 8681 (ABNT, 2003), a combinação é normal e a edificação é do tipo 2, nas quais as cargas acidentais não superam 5 kN/m². O coeficiente γ_G é 1,4 conforme a Tabela 2 da norma pois o efeito é desfavorável e as ações permanentes diretas são consideradas agrupadas. Já o γ_q é 1,4 - segundo a Tabela 5 desta norma - porque as ações variáveis consideradas conjuntamente. Obteve-se para p_{xd} o valor de 0,334 kN/m e 0,101 kN/m para p_{yd} .

A partir dos valores encontrados, foram calculados os esforços solicitantes e as tensões devido à flexão. A Tabela 15 apresenta os valores dos momentos fletores e das tensões devido à flexão nos eixos x e y.

Tabela 15 - Momentos fletores e tensões devido à flexão nas ripas

M_{xd} [kNm]	0,003
$\sigma_{M_{x,d}}$ [kN/m²]	946,23
M_{yd} [kNm]	0,010
$\sigma_{M_{y,d}}$ [kN/m²]	1252,94

Fonte: Elaboração própria (2022)

Em seguida, a verificação das Equações 09 e 10 do ELU foi feita. Para a verificação da borda comprimida, utilizou-se o valor para fcd apresentado

anteriormente. Os resultados obtidos para as verificações foram 0,16 e 0,17 respectivamente. Para a borda tracionada, os valores foram aproximadamente 0,11 e 0,12 respectivamente. Como esses números são menores do que 01, então essa seção resiste aos esforços solicitantes relacionados aos momentos fletores.

Para finalizar as verificações do ELU, foi-se calculado o cisalhamento longitudinal. Os valores encontrados para $V_{x,d}$, $V_{y,d}$, $\tau_{x,d}$, $\tau_{y,d}$ e τ_d estão presentes na Tabela 16.

Tabela 16 - Força cortante e tensão máxima de cisalhamento nas ripas

$V_{x,d}$ [kN]	0,084
$V_{y,d}$ [kN]	0,025
$\tau_{x,d}$ [kN/m ²]	125,29
$\tau_{y,d}$ [kN/m ²]	37,85
τ_d [kN/m ²]	130,89

Fonte: Elaboração própria (2022)

A tensão máxima de cisalhamento é 130,89 kN/m², valor que é menor do que a força cortante de 1.680 kN/m².

Após as verificações do ELU, as do ELS foram conferidas. Os valores máximos para as flechas estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Flechas máximas para as ripas

$\delta_{adm\ inst}$ [cm]	0,167
$\delta_{adm\ fin}$ [cm]	0,333
$\delta_{adm\ net,fin}$ [cm]	0,200

Fonte: Elaboração própria (2022)

As flechas foram calculadas usando o momento de inércia em x e depois em y, o valor obtido foi multiplicado por 100 para transformar o valor para centímetro devido ao valor ser pequeno. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18 - Flechas instantâneas das ripas para a direção x

$\delta_{inst,Gi,k}$ [cm]	0,026
$\delta_{inst,Q,k}$ [cm]	0,014

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 19 - Flechas instantâneas das ripas para a direção y

$\delta_{inst,Gi,k}$ [cm]	0,004
$\delta_{inst,Qj,k}$ [cm]	0,002

Fonte: Elaboração própria (2022)

A flecha instantânea total é de 0,040 cm para a direção x e 0,006 cm para a direção y, o que é menor do que o valor máximo de 0,167 cm.

Em seguida, foram calculadas as flechas finais. Como a ação é referente a cargas acidentais de edifícios e no local não há predominância de pesos e equipamentos que permanecem fixos por longos períodos, nem de elevadas concentrações de pessoas, o valor adotado para φ_2 é 0,3. Já os valores de $\delta_{inst,Gi,k}$ e $\delta_{inst,Qj,k}$ (apresentados nas Tabelas 19 e 20) foram multiplicados por 1,80, pois o valor de 1,00 foi somado com o coeficiente de fluência do bambu de 0,80, de acordo com a norma NBR 16828-1 (ABNT, 2020b) foi somado com 1,00. O valor obtido para o deslocamento final é de 0,055 cm na direção x e 0,009 cm na direção y, o que é menor do que o limite de 0,333 cm presente na Tabela 17.

Portanto, essas dimensões e distâncias são suficientes e atenderam às condições do ELU e ELS e é possível fazer o dimensionamento dos caibros.

4.3.4 Dimensionamento dos caibros

As dimensões dos caibros utilizadas para os cálculos foram de 10 cm por 06 cm. As demais características da seção transversal dos caibros, obtidas através das dimensões da peça pelas Equações 03, 13 e 14, estão presentes na Tabela 20.

Tabela 20 - Características da seção transversal dos caibros

Base (b) [m]	0,10
Altura (h) [m]	0,06
Área (As) [m²]	0,006
Wx [m³]	0,000060
Wy [m³]	0,000100
Ix [m⁴]	0,00000180
Iy [m⁴]	0,00000500

Fonte: Elaboração própria (2022)

A carga permanente foi calculada com o peso próprio dos caibros e das ripas com o acréscimo de 10% no valor total. A distância entre os caibros é de 0,50 m e a Tabela 21 mostra os resultados obtidos.

Tabela 21 - Carga permanente dos caibros

Carga Permanente - Caibro		
Telhas	Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,2250
Ripas	Peso próprio [kN/m]	0,0008
Caibros	Peso próprio [kN/m]	0,0048
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m]		0,25

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para definir qual é a carga acidental a ser considerada nos cálculos, primeiro foram calculados os esforços resultantes da carga pontual de 1 kN e a sobrecarga de 0,25 kN/m². O momento fletor para a carga distribuída (sobrecarga) foi calculado conforme a Equação 12 e para a carga concentrada foi utilizada a Equação 05. Para os esforços cortantes e normais da carga concentrada as Equações 06 e 07, respectivamente, foram usadas e para os da carga distribuída, a Equação 16. Os resultados estão presentes nas Tabelas 22 e 23. É importante destacar que os momentos fletores na direção y são nulos para os caibros.

Tabela 22 - Esforços resultantes da carga acidental de sobrecarga

Carga Acidental Sobrecarga - Caibro	
Carga [kN/m²]	0,250
Carga por metro linear [kN/m]	0,125
M_{xk} [kNm]	0,019
N_k [kN]	0,021
V_k [kN]	0,069

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 23 - Esforços resultantes da carga acidental concentrada

Carga Acidental 1 kN - Caibro	
Carga por metro linear [kN]	1,000
M_{xk} [kNm]	0,275
N_k [kN]	0,145
V_k [kN]	0,480

Fonte: Elaboração própria (2022)

A carga de 1 kN apresentou esforços resultantes maiores do que a sobrecarga de 0,25 kN/m², então, os resultados da primeira foram considerados para o cálculo. Já os esforços resultantes da carga permanente da estrutura estão presentes na Tabela 24.

Tabela 24 - Esforços resultantes da carga permanente

Carga Permanente - Caibro	
M_{xk} [kNm]	0,038
N_k [kN]	0,042
V_k [kN]	0,140

Fonte: Elaboração própria (2022)

Com esses dados, a combinação de ações foi feita, com os mesmos coeficientes usados nas ripas. Os valores de cálculo encontrados através da combinação estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Esforços resultantes de cálculo dos caibros

M_{xd} [kNm]	0,439
M_{yd} [kNm]	0,000
N_{xd} [kN]	0,262
V_{yd} [kN]	0,867

Fonte: Elaboração própria (2022)

Depois, as verificações para o estado-limite último de flexo compressão e da estabilidade lateral da peça foram feitas. Para a flexo compressão, as duas condições que devem ser atendidas para a borda comprimida e para a borda tracionada foram calculadas conforme as Equações 22 e 23. O valor obtido para $\sigma_{N,d}$ foi de 43,69 kN/m² e para $\sigma_{M_{x,d}}$ foi de 7311,88 kN/m². Assim, o resultado das condições 22 e 23 para a borda comprimida são 0,65 e 0,46 e para a borda tracionada, 0,45 e 0,32, respectivamente, satisfazendo as condições da norma 7190-1 (ABNT, 2022a).

Já para a estabilidade lateral, o comprimento entre os apoios é de 1,15 m e então o comprimento de flambagem também é de 1,15 m. O momento de inércia e a área da seção transversal estão na Tabela 20. Com isso, o índice de esbeltez na direção x encontrado foi de 66,395 e na direção y foi de 39,837. O módulo de elasticidade (E_{0,05}) é de 10500,00 MPa e o f_{ck} é 50 MPa. Os valores obtidos para

$\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$ foram 1,458 e 0,875 respectivamente, tornando necessário verificar a estabilidade através das Equações 27 e 28. Para as madeiras laminadas, o fator β_c é 0,1. Logo, os valores obtidos para os quatro coeficientes estão na Tabela 26.

Tabela 26 - Valores dos coeficientes de estabilidade dos caibros

Kx	1,621
kcx	0,429
Ky	0,912
kcy	0,857

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para as verificações presentes das Equações 27 e 28, obteve-se os resultados de 0,54 e 0,54 respectivamente, satisfazendo então as condições de estabilidade.

Também, verificou se a condição da Equação 15 - de cisalhamento - foi satisfeita. O valor obtido para τ_d foi de 216,83 kN/m², o que é menor do que o $f_{v0,d}$, que é 1680 kN/m².

As verificações relacionadas às flechas foram feitas através das Equações 17 a 21, considerando a carga de 0,25 kN/m², valor que foi multiplicado pela distância entre as terças (1,15 m), resultando em 0,125 kN/m. Os valores máximos para os deslocamentos estão apresentados na Tabela 27. Já as Tabelas 28 e 29 mostram os resultados encontrados para as flechas nos caibros.

Tabela 27 - Flechas admissíveis dos caibros

Flecha adm [cm]	
δadm inst [cm]	0,383
δadm fin [cm]	0,766
δadm net,fin [cm]	0,459

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 28 - Flechas dos caibros na direção x

Flecha [cm]	
δinst,G,k [cm]	0,021
δinst,Q,k [cm]	0,010
δinst [cm]	0,032
δfin [cm]	0,044

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 29 - Flechas dos caibros na direção y

Flecha [cm]	
$\delta_{inst,G,k}$ [cm]	0,008
$\delta_{inst,Q,k}$ [cm]	0,004
δ_{inst} [cm]	0,011
δ_{fin} [cm]	0,016

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os dados obtidos mostram que os deslocamentos resultantes são menores do que os admissíveis¹.

4.3.5 Dimensionamento das terças

O dimensionamento das terças foi feito utilizando a distância entre as treliças, quando necessário, variando assim para cada meia treliça. Contudo, foi utilizado o maior valor necessário para a distância entre as treliças de 2,10 m, que é a distância necessária para a dimensão da caixa d'água mais o espaço para a sua manutenção. As dimensões das terças utilizadas para o dimensionamento foram de 08 cm x 16 cm. As demais características da seção transversal, obtidas através das dimensões das terças, estão presentes na Tabela 30.

Tabela 30 - Características da seção transversal das terças

Peça - Terças	
Base [m]	0,08
Altura [m]	0,16
Área [m ²]	0,0128
W _x [m ³]	0,000341
W _y [m ³]	0,000171
I _x [m ⁴]	0,00002731

Fonte: Elaboração própria (2022)

¹ Para os caibros foi testado também as dimensões de 06 cm x 05 cm. Contudo, as verificações das Equações 22, 23, 27 e 28 com essas dimensões foram maiores do que 01 para flexo-compressão para borda comprimida e tracionada e também para estabilidade, não satisfazendo assim a norma.

Nas cargas permanentes atuantes nas terças (Tabela 31) foi acrescentado o peso próprio das terças e 10% para prever os elementos de ligação. A distância entre as terças multiplicada pelo cosseno de $16,70^\circ$ (1,10 m) foi usada para transformar as cargas em kN/m.

Tabela 31 - Carga permanente das terças

Carga Permanente - Terças		
Telhas	Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,517
Ripas	Peso próprio [kN/m]	0,0008
Caibros	Peso próprio [kN/m]	0,0048
Terças	Peso próprio [kN/m]	0,010
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m]		0,586

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para as cargas acidentais foram consideradas condições semelhantes aos caibros. Foram calculados os esforços resultantes da sobrecarga (Tabela 32) e da carga concentrada (Tabela 33). O momento fletor para a carga distribuída (sobrecarga) foi calculado conforme a Equação 12 e para a carga concentrada foi utilizada a Equação 05. Para os esforços cortantes e normais as Equações 06, 07 e 16, respectivamente, foram usadas.

Tabela 32 - Esforços resultantes da sobrecarga nas terças

Carga Acidental Sobrecarga - Terças	
Carga [kN/m²]	0,250
Carga por metro linear [kN/m]	0,287
M_{xd} [kNm]	0,152
M_{yd} [kNm]	0,046
V_{xk} [kN]	0,289
V_{yk} [kN]	0,087

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 33 - Esforços resultantes da carga concentrada nas terças

Carga Acidental - Terças	
Carga [kN]	1,000
M_{xk} [kNm]	0,504
M_{yk} [kNm]	0,152
V_{xk} [kN]	0,479
V_{yk} [kN]	0,144

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os esforços resultantes maiores foram da carga de 1 kN, então esses foram os valores considerados para o cálculo. Os esforços da carga permanente da estrutura estão presentes na Tabela 34.

Tabela 34 - Esforços resultantes da carga permanente nas terças

Carga Permanente - Terças	
Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,586
M _{xk} [kNm]	0,310
M _{yk} [kNm]	0,094
V _{xk} [kN]	0,591
V _{yk} [kN]	0,178

Fonte: Elaboração própria (2022)

Com base nesses valores, foi feita a combinação de ações com os mesmos coeficientes usados nas ripas. A Tabela 35 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 35 - Esforços resultantes de cálculo das terças

M _{xd} [kNm]	1,140
M _{yd} [kNm]	0,344
V _{xd} [kN]	1,497
V _{yd} [kN]	0,451

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para o ELU, foi verificada a flexão oblíqua e o cisalhamento, como nas ripas. As condições das Equações 09 e 10 para a borda comprimida e para a borda tracionada foram verificadas e os valores obtidos para $\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ foram 3338,87 kN/m², 2017,24 kN/m² respectivamente. Já para as condições 09 e 10, obteve-se 0,42 e 0,39 para borda comprimida e 0,29 e 0,27 para a borda tracionada, satisfazendo as condições.

O cisalhamento também foi verificado como as ripas pela Equação 15. Como a flexão é oblíqua, deve-se calcular $\tau_{x,d}$, $\tau_{y,d}$ e τ_d . A Tabela 36 apresenta os resultados para $\tau_{x,d}$, $\tau_{y,d}$ e τ_d . A tensão máxima de cisalhamento é 183,25 kN/m², valor que é menor do que a força cortante de 1.680 kN/m².

Tabela 36 - Esforços resultantes de cálculo das terças

$\tau_{x,d}$	175,46
$\tau_{y,d}$	52,84
τ_d	183,25

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para os deslocamentos, as Equações 17 a 21 foram usadas considerando a carga acidental de sobrecarga de 0,25 kN/m² multiplicada pela distância entre os montantes de 1,10 m, resultando em 0,287 kN/m. A Tabela 37 apresenta os valores máximos para as flechas, já as Tabelas 38 e 39 mostram os dados encontrados para as flechas nas direções x e y.

Tabela 37 - Flechas admissíveis das terças

Flecha adm [cm]	
$\delta_{adm\ inst}$ [cm]	0,700
$\delta_{adm\ fin}$ [cm]	1,400
$\delta_{adm\ net,fin}$ [cm]	0,840

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 38 - Flechas das terças na direção x

Flecha [cm]	
$\delta_{inst,G,k}$ [cm]	0,036
$\delta_{inst,Q,k}$ [cm]	0,018
δ_{fin} [cm]	0,075
δ_{inst} [cm]	0,054

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 39 - Flechas das terças na direção y

Flecha [cm]	
$\delta_{inst,G,k}$ [cm]	0,145
$\delta_{inst,Q,k}$ [cm]	0,071
δ_{fin} [cm]	0,299
δ_{inst} [cm]	0,444

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os dados obtidos mostram que os deslocamentos resultantes são menores do que os admissíveis².

4.3.6 Dimensionamento da meia treliça 1

A maior meia treliça é a primeira, por isso, o dimensionamento dela foi feito primeiro. O dimensionamento das demais treliças está presente no Apêndice D. Todas

² Para as terças também foi verificada a peça com seção de 06 cm x 16 cm. Contudo, essas dimensões fizeram a peça não satisfazer a verificação do ELS para o deslocamento final.

as peças da meia treliça vão ter as mesmas dimensões de 08 cm por 16 cm. As demais características da seção transversal, obtidas através das dimensões das terças, estão presentes na Tabela 40.

Tabela 40 - Características da seção transversal das treliças

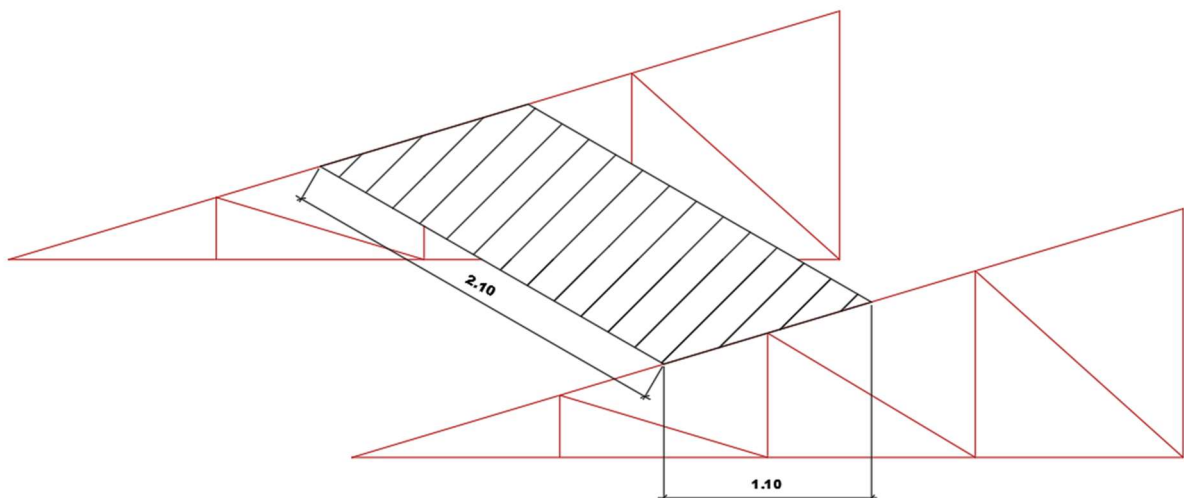
Treliza Howe	
Base [m]	0,08
Altura [m]	0,16
Área [m ²]	0,0128
W _x [m ³]	0,000341
W _y [m ³]	0,000171
I _x [m ⁴]	0,00002731
I _y [m ⁴]	0,00000683

Fonte: Elaboração própria (2022)

No cálculo da carga permanente da treliça foi acrescentado o peso próprio da treliça, e para isso a Equação 04 foi utilizada. Como o comprimento dessa meia treliça é de 4,40m, o peso próprio (gt) é de 0,06 kN/m².

Depois, as cargas foram transformadas em cargas concentradas (em kN) e multiplicadas por uma área de influência (como exemplificado na Figura 68), a qual é composta pela multiplicação entre a distância entre as treliças (2,10 m) e a distância entre os montantes (1,10 m) totalizando 2,31 m². Para os nós das extremidades, essa área foi dividida pela metade. A partir disso, foi possível calcular a carga permanente dos nós internos e externos e os valores encontrados estão presentes na Tabela 41.

Figura 68 - Área de influência da meia treliça 1



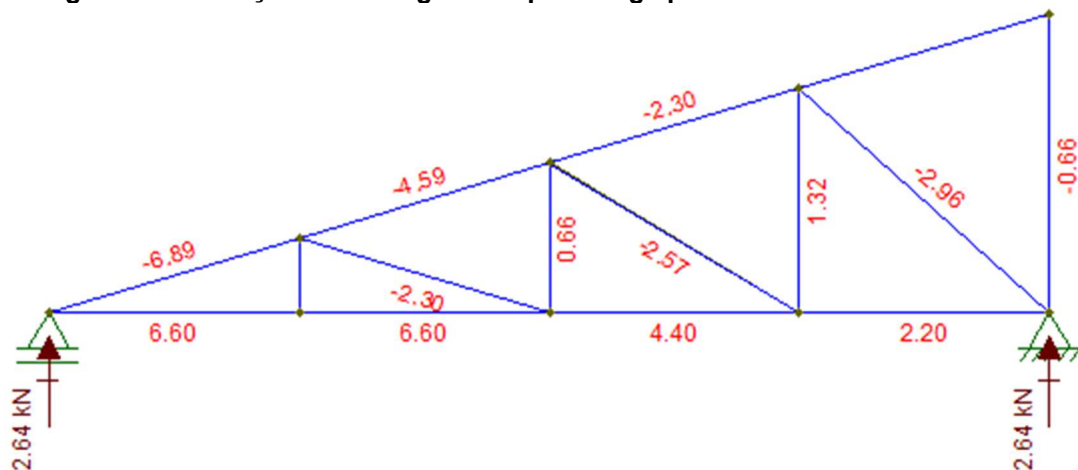
Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 41 – Carga permanente da meia treliça 1

Carga Permanente - Treliza		
Telhas	Peso próprio inclinado [kN/m ²]	0,450
	Carga telhas [kN] interna (B, C e D)	1,040
	Carga telhas [kN] externa (A e E)	0,520
Ripas	Carga ripas [kN/m ²]	0,00038
	Carga ripas [kN] interna (B, C e D)	0,00088
	Carga ripas [kN] externa (A e E)	0,00044
Caibros	Carga caibros [kN/m ²]	0,00229
	Carga caibros [kN] interna (B, C e D)	0,00528
	Carga caibros [kN] externa (A e E)	0,00264
Terças	Carga terças [kN/m ²]	0,005
	Carga terças [kN] interna (B, C e D)	0,011
	Carga terças [kN] externa (A e E)	0,006
Treliza	Peso próprio [kN/m ²]	0,060
	Carga treliza [kN] interna (B, C e D)	0,139
	Carga treliza [kN] externa (A e E)	0,069
Carga Permanente Total [kN] - nós internos (B, C e D)		1,32
Carga Permanente Total [kN] - nós das extremidades externa (A e E)		0,66

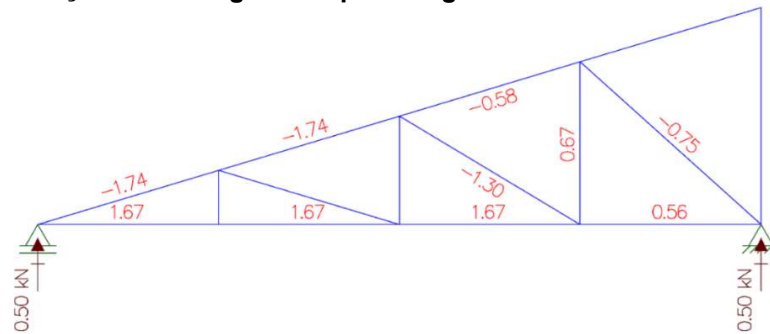
Fonte: Elaboração própria (2022)

Para a carga acidental é necessário verificar qual carga gera esforços maiores. A sobrecarga de 0,25 kN/m² precisa ser multiplicada pelas áreas de influência. Para os nós internos, o valor da carga pontual será de 0,578 kN e para os nós externos, 0,289 kN. Já a carga concentrada de 1 kN deve ser posicionada em cima do nó central da treliza. Os resultados encontrados estão apresentados nas Figuras 69, 70 e 71 sendo que as reações estão embaixo dos apoios na cor vinho e os esforços normais estão em vermelho. Os dados da meia treliza 1, mostrando a localização dos nós e a distância entre os mesmos, estão na Figura 59.

Figura 69 - Esforços normais gerados pela carga permanente no software *Ftool*

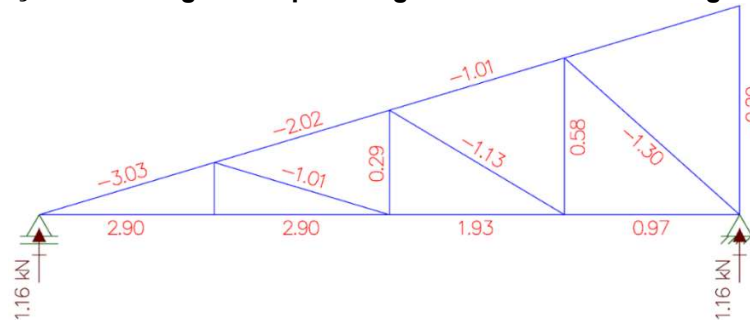
Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 70 - Esforços normais gerados pela carga acidental de 1 kN no software Ftool



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 71 - Esforços normais gerados pela carga acidental da sobrecarga no software Ftool



Fonte: Elaboração própria (2022)

Com essas informações, percebe-se que os valores maiores (em módulo) são os da sobrecarga, fato que também aconteceu em quase todas as outras treliças, exceto na meia treliça 4. Foi feita a combinação de ações a partir disso e os resultados estão na Tabela 42, ressaltando que os valores negativos são referentes à compressão e os positivos, à tração.

Tabela 42 - Esforços normais na meia treliça 1

Barras	Carga Permanente [kN]	Carga Acidental [kN]	Combinação de ações [kN]	
A B	-6,89	-3,03	-13,82	COMPRESSÃO
B C	-4,59	-2,02	-9,21	COMPRESSÃO
C D	-2,30	-1,01	-4,61	COMPRESSÃO
D E	0,00	0,00	0,00	-
A F	6,60	2,90	13,23	TRAÇÃO
F G	6,60	2,90	13,23	TRAÇÃO
G H	4,40	1,93	8,82	TRAÇÃO
H I	2,20	0,97	4,41	TRAÇÃO
B F	0,00	0,00	0,00	-
B G	-2,30	-1,01	-4,61	COMPRESSÃO
C G	0,66	0,29	1,32	TRAÇÃO
C H	-2,57	-1,13	-5,15	COMPRESSÃO
D H	1,32	0,58	2,65	TRAÇÃO
D I	-2,96	-1,30	-5,94	COMPRESSÃO
E I	-0,66	-0,29	-1,34	COMPRESSÃO

Fonte: Elaboração própria (2022)

Foram feitas duas verificações: compressão, em que $\sigma_{Nc,d}$ deve ser menor ou igual ao fcd; e tração, em que $\sigma_{Nt,d}$ deve ser menor ou igual ao ftd conforme a Equação 24. Os valores da Tabela 42 foram utilizados em módulo nas verificações. Todas as barras satisfizeram essas condições.

Além disso, foi verificada a estabilidade lateral das peças que sofrem compressão. As verificações do $\lambda_{rel,x}$ e do $\lambda_{rel,y}$ deram valores maiores do que 0,3, conforme apresentado na Tabela 43, fazendo-se obrigatório verificar as condições presentes nas Equações 27 e 28. Para essas duas condições, os resultados devem ser menores do que 01. Os resultados das verificações estão nas últimas duas colunas, respectivamente, da Tabela 43, juntamente com os demais cálculos necessários para chegar nesses valores.

Tabela 43 - Verificação de estabilidade das barras comprimidas na MT1

BARRA	L [m]	λ_x	λ_y	$\lambda_{rel,x}$	$\lambda_{rel,y}$	k_x	k_y	k_{cx}	k_{cy}	Verificação		
A	B	1,15	24,86	49,73	0,55	1,09	0,66	1,14	0,97	0,69	0,10	0,14
B	C	1,15	24,86	49,73	0,55	1,09	0,66	1,14	0,97	0,69	0,07	0,09
C	D	1,15	24,86	49,73	0,55	1,09	0,66	1,14	0,97	0,69	0,03	0,05
B	G	1,15	24,86	49,73	0,55	1,09	0,66	1,14	0,97	0,69	0,03	0,05
C	H	1,28	27,77	55,55	0,61	1,22	0,70	1,29	0,95	0,58	0,04	0,06
D	I	1,48	32,04	64,08	0,70	1,41	0,77	1,55	0,93	0,46	0,04	0,09
E	I	1,32	28,58	57,16	0,63	1,26	0,71	1,34	0,95	0,56	0,01	0,02

Fonte: Elaboração própria (2022)

Como as verificações das Equações 27 e 28 resultaram em valores menores do que 1, então elas satisfazem as condições necessárias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou aprofundar os pontos positivos do bambu e suas aplicações na engenharia civil visando estimular o seu uso no Brasil. Com pesquisas realizadas em fontes bibliográficas e as propostas elaboradas para a habitação, foi possível confirmar que o bambu é um material que proporciona diversas possibilidades arquitetônicas e estruturais, podendo ser utilizado em várias formas, como peças roliças ou de bambu laminado colado (BLC), painéis de bambu contraplacado, esteiras, taliscas usinadas, entre outros. Ainda que necessitando de mais aprofundamento de detalhes para a habitação, comprovou-se que o bambu pode ser uma solução adequada para tornar as construções mais sustentáveis.

Cada etapa realizada teve um propósito dentro do trabalho: a metodologia utilizada para o projeto e para a determinação dos subsistemas foi suficiente para o desenvolvimento e obtenção dos resultados esperados; as referências bibliográficas ajudaram a definir as diretrizes do projeto e as tomadas de decisões. Também o questionário com duas empresas do município de Florianópolis auxiliou na confirmação da *Dendrocalamus asper* como a espécie selecionada para o estudo de caso. E os estudos de ensaios e análises das propriedades físicas e mecânicas desta espécie foram primordiais para aprofundar a pesquisa, principalmente na parte do dimensionamento da estrutura da cobertura.

Os resultados gerais obtidos foram o projeto arquitetônico da habitação com a seleção dos componentes dos subsistemas estrutural, de cobertura e de vedação. Também, foi elaborado o dimensionamento dos componentes da cobertura, no qual as seções adotadas atenderam às condições estabelecidas pelas normas da ABNT de bambu e de madeira, principalmente. Assim, o problema levantado nesta pesquisa foi solucionado e os objetivos estabelecidos alcançados.

As normas da ABNT auxiliaram na elaboração do projeto nas questões de *layout* e conforto ergonômico, assim como no dimensionamento da cobertura. Entretanto, encontraram-se algumas dificuldades na etapa do dimensionamento da cobertura. Foi necessário, neste caso, um estudo sobre a recente norma referente a estruturas de madeira publicada em julho de 2022 e fazer adaptações junto com a norma de bambu, devido a escolha do tipo utilizado de sistema construtivo utilizado - BLC. Portanto, sente-se a necessidade de uma norma que inclua os bambus

processados para o melhor dimensionamento das estruturas visto a sua crescente utilização em habitações.

Outra dificuldade encontrada neste trabalho foi o detalhamento dos elementos, componentes e subsistemas em bambu durante o processo do projeto no *software* Revit, dificultando a modelagem com mais informações técnicas da habitação. Também, para certos detalhes da estrutura da cobertura, como a ligação entre as peças das treliças, o *software* não permitiu os cortes necessários para os entalhes das peças. Por isso, foi necessário mesclar informações elaboradas em 2D e 3D, no AutoCAD e no Revit.

Mas, por fim, considerou-se o resultado satisfatório. Dentro do âmbito acadêmico e profissional, foi um processo em que foram aplicados os conceitos estudados durante o curso de engenharia civil em um material não muito explorado. Isso exigiu da autora contato com diversos conceitos novos e únicos. Também, foi necessário desenvolver e adaptar métodos para calcular e dimensionar a edificação, preparando para futuros desafios profissionais nesta área.

Com base nos estudos realizados sugere-se, para trabalhos futuros, a adequação do *layout* da habitação para torná-la acessível. Também, é necessário elaborar os detalhes dos subsistemas hidráulicos e elétricos, pois não foram encontrados exemplos desses casos para edificações feitas com estruturas de bambu nas referências bibliográficas, nem nas empresas localmente consultadas. Recomenda-se ainda a continuação do dimensionamento estrutural do projeto, para verificar se a fundação, os pilares, as vigas, as lajes e as ligações das treliças resistem aos esforços solicitantes. Por fim, ressalta-se a necessidade de mais informações sobre a modelagem BIM de edificações de bambu, incluindo *softwares* para projeto, detalhamento e dimensionamento das estruturas e demais componentes em bambu.

REFERÊNCIAS

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M.. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**: volume 5. São Paulo: Edgar Blücher Ltda., 2011. 144 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=J3i5DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=sustentabilidade+na+constru%C3%A7%C3%A3o+civil&ots=uj5_rHF6Mo&sig=FIXT4nHF6fQwR8Ri6p_1w_Id_AY#v=onepage&q=sustentabilidade%20na%20constru%C3%A7%C3%A3o%20civil&f=false. Acesso em: 6 maio 2022.

AIS. **MANUAL DE EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN Y REFUERZO DE VIVIENDAS DE BAHAREQUES TRADICIONALES CONSTRUIDAS CON ANTERIORIDAD A LA VIGENCIA DEL DECRETO 052 DE 2002**. Colômbia: AIS, [2004?]. 106 p.

ALMEIDA, Jaime de. Potencialidades do bambu. **Sustentabilidade em Debate**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 178-195, 30 dez. 2016.

ARRUDA, A. J. V.; FERROLI, P. C. M.; LIBRELOTTO, L. I. **Design, Artefatos e Sistema Sustentável**. São Paulo: Editora Blucher, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **INDÚSTRIA BRASILEIRA FAZ A SUA PARTE NA REDUÇÃO DE EMISSÕES**. 2021. Disponível em: <https://abcp.org.br/industria-brasileira-faz-a-sua-parte-na-reducao-de-emissoes/>. Acesso em: 07 jul. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Sistemas Prediais de Água Fria e Água Quente — Projeto, Execução, Operação e Manutenção. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020a. 56 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 60 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças Devidas ao Vento em Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 110 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-1**: Projeto de Estruturas de Madeira - Parte 1: Critérios de Dimensionamento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022a. 81 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e Segurança nas Estruturas - Procedimento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. 5 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 98 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16828-1**: Estruturas de Bambu - Parte 1: Projeto. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020b. 31 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16828-2**: Estruturas de Bambu - Parte 2: Determinação das Propriedades Físicas e Mecânicas do Bambu. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2020c. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Norma NBR 17043**: Varas de bambu para uso estrutural — Colheita, tratamento imunizante e classificação pelo diâmetro. Rio de Janeiro: ABNT, 2022b. 10 p.

BENAVIDES, Andrea Salomé Jaramillo. **MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E DECISÕES PROJETOVAIS QUE INCIDEM NA DURABILIDADE DO BAMBU EM EDIFICAÇÕES NO SUL DO BRASIL**. 2019. 282 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204499/PARQ0344-T.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BERALDO, Antônio L.; ALEIXO, Roberto P. **Bambu**: características e aplicações na construção civil e em arquitetura. Bauru: Canal 6, 2019. 108 p.

CALDAS, Lucas Rosse; RODRIGUEZ, Leonardo; MENEZES, Bruno; TOLEDO FILHO, Romildo. Avaliação do potencial de mitigação das mudanças climáticas com o uso de colmos de bambu na construção civil brasileira. **Lalca**: Revista Latino-Americana em Avaliação do Ciclo de Vida, [S.l.], v. 4, p. 1-18, 19 dez. 2020. IBICT. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/366b/2558d8c557164f79fc9a4613cb5af8352944.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

CAO, Lilly. Quão eficiente é o Bambu para aplicações estruturais? 2020. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/934550/quao-eficiente-e-o-bambu-para-aplicacoes-estruturais>. Acesso em: 01 dez. 2022.

CARBONARI, Gilberto; SILVA JUNIOR, Nelson; PEDROSA, Nicolas Henrique; ABE, Camila Hiromi; SCHOLTZ, Marcos Ferreira; ACOSTA, Caio Cesar Veloso; CARBONARI, Luana Toralles. BAMBU – O AÇO VEGETAL. **Mix Sustentável**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 17-25, 12 mar. 2017. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1876/1052>. Acesso em: 11 abr. 2022.

CARDOSO JUNIOR, Rubens. **Arquitetura com bambu**. 2000. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Universidade Para O Desenvolvimento do Estado e Região do Pantanal, [S.l.], 2000. Disponível em: http://bamusc.org.br/wp-content/uploads/2009/05/arquitetura_com_bambu_rubens-cardoso-filho.pdf. Acesso em: 16 abr. 2022.

CHEN, Guo *et al.* Mechanical behavior of laminated bamboo lumber for structural application: an experimental investigation. **European Journal Of Wood And Wood Products**, [S.L.], v. 78, n. 1, p. 53-63, 17 dez. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00107-019-01486-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-019-01486-9>. Acesso em: 08 nov. 2022.

CIB. **Agenda 21 on sustainable construction**. Roterdão: CIB, 1999. 122 p. Disponível em: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB4162.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2022.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SANTA CATARINA. **IN 1 - PARTE 1: PROCESSOS GERAIS DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO**. 2 ed. Florianópolis, 2022. 53 p. Disponível em: <https://documentoscbmsc.cbm.sc.gov.br/uploads/9c7045a7901c2c15f55cc8062da66bd3.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2022.

CUADRA, C. H.; SAITO, T.; ZAVALA, C. Dynamic characteristics of tradicional adobe-quincha buildings in Peru. In: **WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING (WCEE)**, 15, 2012. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Engenharia Sismica, 2012. 9 p. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.706.2005&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 14 maio 2022.

DELGADO, Patrícia Santos. **O bambu como material eco-eficiente**: caracterização e estudos exploratórios de aplicações. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2801>. Acesso em: 29 nov. 2022.

EMBRAPA. **ATLÁS CLIMÁTICO DA REGIÃO SUL DO BRASIL**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2012. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202005/13110041-atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil.pdf>. Acesso em: 16 out. 2022.

EFFTING, Elisa da Fonseca. **CONSTRUÇÃO CIVIL SUSTENTÁVEL**: Um estudo sobre a utilização do bambu. 2017. 107 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2017. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/4521/2/Monografia%20Elisa%20Effting.pdf>. Acesso em: 14 maio 2022.

FARRELLY, David. **The Book of Bamboo**. São Francisco, EUA: Siera Book Clubs, 1984. 332 p.

FERREIRA, Rodrigo Pereira. **Utilização De Bambu Na Construção Sul-americana**: Revisão tecnológica. 2021. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Projeto Integrado na Construção de Edifícios, Universidade do Porto, Porto, 2021. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/136916/2/507524.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

FILGUEIRAS, Tarciso S.; SANTOS-GONÇALVES, Ana Paula. Tupi-Guarani: fonte de informações sobre bambus nativos do Brasil. **Heringeriana**, Brasília, v. 1, n. 1, p. 35-41, jul. 2007.

GANGWAR, Tarun; SCHILLINGER, Dominik. Microimaging-informed continuum micromechanics accurately predicts macroscopic stiffness and strength properties of hierarchical plant culm materials. **Mechanics Of Materials**, [S.L.], v. 130, p. 39-57, mar. 2019.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**, 6ª edição. Rio de Janeiro: Editora Atlas Ltda, 2017. 173 p.

GIRALDO, Verónica María Correa; QUEIROS, Mathieu; CANDELARIA, Víctor Rubén Ordoñez; MUÑOZ, Luis Felipe López; MÉNDEZ, Esteban Flores; LÓPEZ, Janis Zapata. **EL BAHAREQUE, UN SISTEMA CONSTRUCTIVO SISMORESISTENTE Y SUSTENTABLE PARA SOLUCIONES DE VIVIENDA SOCIAL EN MÉXICO**. In: CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL, 2014, Puerto Vallarta, Jalisco: Sociedad Mexicana Mexicana de Ingenier Ingeniería Estructural, 2014. 19 p.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-27.4353157,-48.40807239,9.69699549a,377.20029461d,35y,0.5558223h,0.46076146t,0r>. Acesso em: 25 jun. 2022.

GUADUA BAMBOO. **Timarai Bamboo Beach Resort**. Disponível em: <https://www.guadubamboo.com/blog/timarai-bamboo-beach-resort>. Acesso em: 06 maio 2022.

HUANG, Zujian. **Application of Bamboo in Building Envelope**. Guangzhou: Springer Nature Switzerland AG, 2019. 338 p.

INBAR. **Bamboo for the Environment, Development and Trade**. Wuyishan: INBAR, 2006. 203 p.

INSTITUTO DO AÇO. **Posicionamento - Mudanças Climáticas**. 2021. Disponível em: https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2021/09/ACOBASIL_Position_Paper_Mudan%C3%A7as_Climaticas.pdf. Acesso em: 8 maio 2022.

JANSSEN, Jules J. A. **Designing and Building with Bamboo**. Beijing: International Network For Bamboo And Rattan (INBAR), 2000. 208 p. Technical Report.

JOHN, Vanderley M.. Materiais de Construção e o Meio Ambiente. In: ISAIA, Geraldo C. (ed.). **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2017. p. 1-40. Disponível em: <https://prp.usp.br/wp-content/uploads/sites/277/2017/05/VMJOHN-Materiais-e-o-meio-ambiente-2017-09-30-1.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2022.

KIGOMO, Bernard N. **Guidelines for Growing Bamboo**. Nairobi: Kenya Forestry Research Institute (Kefri), 2007. Disponível em: <https://www.humanitarianlibrary.org/sites/default/files/2014/02/Guidelines%20for%20growing%20bamboo.pdf>. Acesso em: 25 maio 2022.

KLEINE, Hans J. **Um pouco da história do bambu no Brasil**. 2020. Disponível em: <https://bambusc.org.br/um-pouco-da-historia-do-bambu-no-brasil/>. Acesso em: 11 maio 2022.

LANA, Cinthia Aparecida Carneiro. **DESENVOLVIMENTO DE TRELIÇAS PLANAS DE BAMBUS DE PEQUENO DIÂMETRO COM BIOCONEXÕES COMPÓSITAS**. 2016. 149 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AB7PDC/1/298.pdf>. Acesso em: 23 maio 2022.

LAPO, Luis Eduardo Rebolo; BERALDO, Antonio Ludovico. Bambu Laminado Colado (BLC). **Agronegócio e Meio Ambiente - Rama**, [S. L.], v. 1, n. 2, p. 165-177, ago. 2008. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/761>. Acesso em: 08 nov. 2022.

LARUCCIA, Mauro Maia. Sustentabilidade e Impactos Ambientais da Construção Civil. **Revista Eniac Pesquisa**, Guarulhos, v. 3, n. 1, p. 69-84, 30 jun. 2014. Disponível em: https://ojs.eniac.com.br/index.php/EniacPesquisa/article/view/124/pdf_21. Acesso em: 06 maio 2022.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; OSTAPIV, Fabiano (org.). **Bambu**: caminhos para o desenvolvimento sustentável. Florianópolis: Grupo de Pesquisa Virtuhab/UFSC, 2019. 204 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197060>. Acesso em: 16 jun. 2022.

LIESE, Walter. **Anatomy and properties of bamboo**. International Bamboo Workshop. China, 1985, p.196-208.

LIESE, Walter. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing: International Network For Bamboo And Rattan (INBAR), 1998. 204 p. Technical Report.

LIMA, Douglas Mateus de. **Bambu laminado colado (Dendrocalamus giganteus) aplicado à treliça plana tipo Howe e à viga retangular**. 2013. 234 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2013. Disponível em: <https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/10420/1/Disserta%C3%A7ao%20DOUGLAS%20DE%20LIMA.pdf>. Acesso em: 31 out. 2022.

LISBÔA, Sumara Alessandra Silva. **Painel de Pau a Pique Bambu e Terra na Ilha de Santa Catarina**. 2019. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/206484/PARQ0361-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 30 jun. 2022.

LOPES, Augusto Milani Augusto Milani; CARBONARI, Gilberto; CORBACHO, Felipe Augusto Favaretto; TEODORO NETO, Benedito. **VIABILIDADE TÉCNICA DE LAJES MISTAS DE BAMBU-CONCRETO SEM A PRESENÇA DE AÇO**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 9, n. 0, p. 77, 18 ago. 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9617/5272. Acesso em: 01 jun. 2022.

LÓPEZ, Oscar Hidalgo. **Bamboo The Gift Of The Gods**. Bogotá, 2003. 553 p.

LOZADA, G.; NUNES, K.D.S. **Metodologia Científica**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. 238 p.

LUDWIG, Amanda Helena; SOUZA, Lucas Dutra. **ESTUDO DE CASO: casa de bambu na ecovila mãe terra**. 2019. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unievangélica, Anápolis, 2019. Disponível em: http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1439/1/TCC2%202019_1%20Amanda%20e%20Lucas.pdf. Acesso em: 26 out. 2022.

MA, Hossain *et al.* MASS PROPAGATION OF DENDROCALAMUS ASPER BY BRANCH CUTTING. **Journal Of Tropical Forest Science**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 82-88, 23 jan. 2018. Forest Research Institute Malaysia. Disponível em: <https://www.frim.gov.my/v1/jtfsonline/jtfs/v30n1/82-88.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

MARÇAL, Vitor Hugo. **Uso do Bambu na Construção Civil**. 2008. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em: http://bambusc.org.br/wp-content/uploads/2009/05/tratamentobambu_vitor_hugo_marcal.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

MARÇAL, Vitor Hugo Silva. **ANÁLISE COMPARATIVA DE NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONAIS PARA O EMPREGO DO BAMBU – COLMO EM ESTRUTURAS PREDIAIS**. 2018. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/33946>. Acesso em: 29 maio 2022.

MARINHO, Nelson Potenciano. **CARACTERÍSTICAS DAS FIBRAS DO BAMBU (Dendrocalamus giganteus) E POTENCIAL DE APLICAÇÃO EM PAINÉIS DE FIBRA DE MÉDIA DENSIDADE (MDF)**. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/369>. Acesso em: 11 jun. 2022.

MINKE, Gernot. **Building with Bamboo**. Basel: Birkhäuser, 2012. 159 p.

MOIZÉS, Fábio Alexandre. **Painéis de Bambu, uso e aplicações**: uma experiência didática nos cursos de design em Bauru, São Paulo. 2007. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenho Industrial, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007. Disponível em: https://www.faac.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/Design/Dissertacoes/fabio_moizes.pdf. Acesso em: 30 jun. 2022.

MOLITERNO, Antônio. **Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2010. 268 p.

NMBA. **The Bamboo Book**. 3. ed. New Delhi: Chiranjn Advertising, 2011. 79 p. Disponível em: https://nectar.org.in/images/publications/Final_Bamboo_Book.pdf. Acesso em: 25 maio 2022.

NUNES, Antônio Ricardo Sampaio. **Construindo com a Natureza Bambu**: uma alternativa de ecodesenvolvimento. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2005. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/4337>. Acesso em: 16 abr. 2022.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das Emissões Brasileiras de Gases de Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas de Clima do Brasil 1970-2019**. [S.l.]: SEEG, 2020. 41 p. Disponível em: http://energiaeambiente.org.br/wp-content/uploads/2020/11/SEEG8_DOC_ANALITICO_SINTESE_1990-2019.pdf. Acesso em: 30 jun. 2022.

OLIVEIRA, Andressa Mikhaella; GAFFURI, Bruna Alessandra; MOURA, Jorge Daniel. PROPOSTA DE SISTEMA MODULAR EM BAMBU PARA HABITAÇÃO EMERGENCIAL. *Mix Sustentável*, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 102-116, 1 dez. 2021. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/4697/3810>. Acesso em: 16 jun. 2022.

OLIVEIRA, Luiz Fernando Andrade de. **Conhecendo Bambus e Suas Potencialidades Para Uso na Construção Civil**. 2013. 90 f. Monografia (Especialização) - Curso de Construção Civil, Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-9GBPWL/1/monografia_conhecendo_bambus_e_suas_potencialidades___luz_fernando_andrade__de_oliveira.pdf. Acesso em: 9 maio 2022.

OLIVEIRA, Thaisa Francis César Sampaio de. **SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA**: uma reflexão sobre o uso do bambu na construção civil. 2006. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas do Espaço Habitado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006. Disponível em: <https://ctec.ufal.br/grupopesquisa/grilu/Artigos/Sustentabilidade%20e%20Arquitetura%20Uma%20Reflex%C3%A3o%20Sobre%20o%20Uso%20do%20Bambu%20na%20Constru%C3%A7%C3%A3o%20Civil.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2022.

PADOVAN, Roberval Braz. **O BAMBU NA ARQUITETURA**: design de conexões estruturais. 2010. 183 f. Dissertação (Pós-Graduação) - Curso de Design, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2010. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/89702/padovan_rb_me_bauru.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 10 abr. 2022.

PEIXOTO, Luciana Kaviski. **Sistema Construtivo em Bambu Laminado Colado**: proposição e ensaio de desempenho estrutural de uma treliça plana do tipo *warren*. 2008. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Disponível em:

https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/9731/1/2008_LucianaKaviskiPeixoto_reduzida.pdf. Acesso em: 10 abr. 2022.

PEREIRA, Marco Antônio dos Reis. **Projeto Bambu**: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. 2012. 210 f. Tese (Livre-Docente) - Design e Construção com Bambu. Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho, Bauru, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/106710>. Acesso em: 23 abr. 2022.

PMF. **Geoprocessamento**. 2022. Disponível em: <http://geo.pmf.sc.gov.br/>. Acesso em: 04 jul. 2022.

PMF (Município). **Lei Complementar nº 482, de 17 de janeiro de 2014**. Institui o Plano Diretor de Urbanismo do Município de Florianópolis que Dispõe sobre a Política de Desenvolvimento Urbano, o Plano de Uso e Ocupação, os Instrumentos Urbanísticos e o Sistema de Gestão. Florianópolis, SC, 2014a. Disponível em: <http://ipuf.pmf.sc.gov.br/plano-diretor/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

PMF (Município). **Lei Complementar nº 707, de 27 de janeiro de 2021**. Institui o Projeto Destrava Floripa, Altera Dispositivos da Lei Complementar Nº 060, de 2000 (Código de Obras) e da Lei Complementar Nº 374, de 2010 e Dá Outras Providências. Florianópolis, SC, 2021a. Disponível em: <https://www.pmf.sc.gov.br/entidades/smdu/index.php?cms=codigo+de+obras>. Acesso em: 06 jul. 2022.

PMF. **Tabela de Adequação de Usos**. Florianópolis, 2014b. Disponível em: http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/18_07_2014_10.03.37.82e294196c4df9b7c1459599611bd6ee.pdf. Acesso em: 17 de nov. 2022.

PMF. **Tabela de Limites de Ocupação**. Florianópolis, 2014c. Disponível em: http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/18_07_2014_10.02.53.9bc76f3acfe3be22bc5373423ae3f59b.pdf. Acesso em: 17 nov. 2022.

PMF. Vigilância Sanitária. Prefeitura de Florianópolis. **Orientações técnicas**: informações e orientações pertinentes ao setor de análise de projetos. Informações e orientações pertinentes ao setor de Análise de Projetos. 2021b. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/vigsanitaria/index.php?cms=orientacoes+tecnicas&menu=4&submenuid=1662>. Acesso em: 17 nov. 2022.

PROJETO BAMBU. **Glossário**. Disponível em: <https://bambu-unesp-bauru.github.io/glossario>. Acesso em: 01 maio 2022.

REGHIN FILHO, José Ricardo; CALLEFI, Mario Henrique Bueno Moreira; MIOTTO, José Luiz. Produção artesanal e sustentável de bambu laminado colado. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, [S.L.], v. 5, n. 35, p. 1-12, 9 dez. 2017. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/1621. Acesso em: 01 dez. 2022.

REUBENS, Rebecca. **Bamboo in Sustainable Contemporary Design**. Beijing: International Network For Bamboo And Rattan (INBAR), 2010. 183 p. Disponível em: <https://www.inbar.int/wp-content/uploads/2020/05/1489549243.pdf>. Acesso em: 25 maio 2022.

ROMAN, Humberto; BONIN, Luis Carlos (ed.). Introdução. In: ROMAN, Humberto; BONIN, Luis Carlos (ed.). **Normalização e Certificação na Construção Habitacional**. 3. ed. Porto Alegre: ANTAC, 2003. p. 14. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/235156>. Acesso em: 21 nov. 2022.

ROSA, Rafael Amorim *et al.* INFLUÊNCIAS DA ESPÉCIE, TRATAMENTO PRESERVATIVO E ADESIVOS NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO BAMBU LAMINADO COLADO. **Ciência Florestal**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 913-924, 30 set. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/XF3SY6BZfQDyFWsbFrh6vHc/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 08 nov. 2022.

ROTH, C. das G.; GARCIAS, C. M. **Construção Civil e a Degradação Ambiental**. Desenvolvimento em Questão, [S. l.], v. 7, n. 13, p. 111–128, 2011. Disponível em: <https://www.revistas.unijui.edu.br/index.php/desenvolvimentoemquestao/article/view/169>. Acesso em: 06 maio 2022.

SANTOS, Alana Karolyne Dametto dos; CADORIN, Ana Caroline. **ANÁLISE ESTRUTURAL DE LIGAÇÕES PERPENDICULARES E DIAGONAIS EM BAMBU DA ESPÉCIE PHYLLOSTACHYS AUREA**. 2021. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/28511/1/ligacoesperpendicularesdiagonaisbambu.pdf>. Acesso em: 29 maio 2022.

SILVA, Wanner Kelly Damasceno da; RUBENS, Tallis Deyvide Maia; CABRAL, Antônio Eduardo Bezerra. Bambusa Vulgaris: caracterização das propriedades mecânicas do bambu cultivado em Redenção, Ceará-Brasil. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES, 16., 2021, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Congresso Internacional Sobre Patologia e Reabilitação das Construções, 2021. p. 537-545. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/CINPAR.2021.068>. Acesso em: 25 maio 2022.

SILVA, Wellington Cardoso da. **Habitação com bambu de interesse social no Maranhão**: elaborar um protótipo de célula habitacional com bambu. 2008. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual do Maranhão, São Luiz, 2008. Disponível em: <https://dspace.mj.gov.br/bitstream/1/6112/1/Habita%c3%a7%c3%a3o%20com%20Bambu%20de%20Interesse%20Social%20no%20Maranh%c3%a3o.pdf>. Acesso em: 12 maio 2022.

SOUZA, Fellipe Moraes; LEÃO, Lucas Osório; QUARESMA, Wanessa Mesquita Godoi. **Estado da Arte do Bambu na Construção Civil**. Brazilian Journal Of Development, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 19637-19653, 2020. /bjdv6n4-216. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/8805/7540>. Acesso em: 23 maio 2022.

SZÜCS, Carlos Alberto; TEREZO, Rodrigo Figueiredo; VALLE, Ângela do; MORAES, Poliana Dias de. **ESTRUTURAS DE MADEIRA**. 5. ed. Florianópolis: UFSC, 2016. 213 p.

TEDESCHI, Samara Pereira. **O uso do bambu**: o papel da cadeia produtiva no setor moveleiro e da construção civil no Brasil. 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência, Tecnologia e Sociedade, Centro de Educação e Ciências Humanas, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1071/3947.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 maio 2022.

TEREZO, Rodrigo Figueiredo; FRAZZON, Andréa Morosini. **PROJETO DE COBERTURA DE UM GALPÃO INDUSTRIAL ATEMDENDO A CRITÉRIOS DE CÁLCULO DA NBR 7190/97**. Florianópolis: 2003. 58 p.

TOP TELHAS. **Catálogo Técnico**. Disponível em: http://toptelha.com.br/catalogos/TopTelha_CatalogoTecnico.pdf. Acesso em: 09 out. 2022.

TONGJI UNIVERSITY. **Solar Decathlon 2010**: Deliverable#7 Project Manual. Shanghai: Tongji University, 2010. 350 p. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjHh-T6zuL7AhWxK7kGHYEuAIUQFnoECBMQAQ&url=https%3A%2F%2Fbuilding-competition.org%2Ffile%2F5909f18d2dd2ae339ba37307%2F40de3565eddd704fa06c67dd9a6044eccb0946407889cb4d54df30ac4b094b80&usg=AOvVaw3jMq1tPJtErj54Kb9Fw7yG&cshid=1670248158010460>. Acesso em: 3 set. 2022.

WEIDLE, Érico P. S.. **SISTEMAS CONSTRUTIVOS NA PROGRAMAÇÃO ARQUITETÔNICA DE EDIFÍCIOS DE SAÚDE**. Brasília: Ministério da Saúde, 1995. 53 p. (Saúde & Tecnologia - Textos de Apoio à Programação Física dos Estabelecimentos Assistenciais de Saúde). Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/sistemas_edificios.pdf. Acesso em: 21 nov. 2022.

XIAO, Yan; INOUE, Masafumi; PAUDEL, Shyam K. (ed.). **Modern Bamboo Structures**. Londres: Taylor & Francis Group, 2008. 314 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Possíveis discrepâncias entre os resultados dos ensaios de caracterização do bambu

Ao analisar resultados sobre as propriedades mecânicas do bambu, ressaltasse-se que, até o ano de 2020, a metodologia de execução dos ensaios de caracterização do bambu ainda não era padronizada, embora existissem as recomendações da ISO (*International Standardization Organization*) (LIBRELOTTO; OSTAPIV, 2019). Em grande parte dos ensaios não eram especificadas características das amostras, tais como: qual parte do bambu foi estudada (base, meio ou topo), se amostras eram na forma cilíndrica ou de ripas (paralelepédicas), sua posição ao longo da parede ou ainda qual a idade do colmo (PEREIRA, 2012). Assim, atualmente, é possível encontrar dados discrepantes, o que torna difícil comparar os resultados obtidos em literatura (PEREIRA, 2012, LIBRELOTTO, OSTAPIV, 2019).

Por exemplo, um dos motivos da divergência entre os resultados apresentados por Carbonari *et al.* (2017) e Silva, Rubens e Cabral (2021) na Tabela 2 pode ser a norma que foi utilizada como base, o ensaio realizado por Carbonari *et al.* (2017) seguiu as recomendações da norma ISO/TC165 N324 publicada em 1999. Já Silva, Rubens e Cabral (2021) seguiram o Projeto de Norma da ABNT NBR 16828-2 de 2019 e na ISO 22157 de 2019. A norma brasileira NBR 16828-2 (ABNT, 2020c) não foi baseada na norma ISO que Carbonari *et al.* (2017) seguiu. Tanto Carbonari *et al.* (2017) quanto Silva, Rubens e Cabral (2021) extraíram nove corpos de prova para cada espécie de bambu, sendo três na base, três intermediários e três no topo. Além disso, a idade dos colmos selecionados variam de 04 a 07 anos para Carbonari *et al.* em 2017 e 03 a 05 anos para Silva, Rubens e Cabral (2021). O corte dos colmos também foi realizado de forma diferente, os primeiros dividiram o colmo em duas partes de aproximadamente 06 m, já os segundos dividiram o colmo em partes de 03 metros.

Os ensaios de Beraldo (1987 apud PEREIRA, 2012) foram realizados em colmos de *Phyllostachys sp* e *Phyllostachys purpuratta* na forma cilíndrica. Enquanto os colmos de *Dendrocalamus giganteus* eram corpos de prova paralelepédicos.

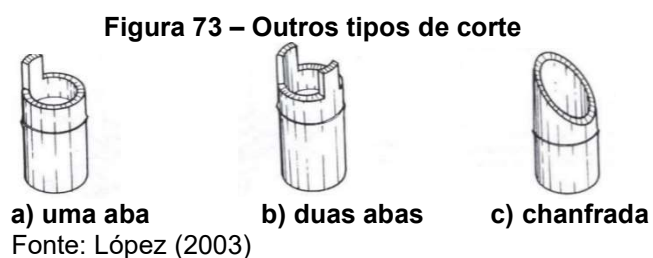
A partir dos resultados obtidos, Carbonari *et al.* (2017) concluíram que a presença do nó não afeta significativamente os valores de resistência à compressão

do bambu. que “se for considerada a relação entre a resistência à compressão e a massa específica, todas as espécies de bambu ensaiadas superam o concreto e o aço, demonstrando a eficiência superior desse material” (CARBONARI *et al.*, 2017, p.4). Ao contrário de Silva, Rubens e Cabral (2021), cujas observações constataam maiores valores de resistência em amostras sem nós. Então, os resultados dos ensaios presentes na tabela confirmam a diferença dos dados em relação à resistência à compressão.

Em 2020, a ABNT lançou as normas NBR 16828-1 Estruturas de Bambu - Parte 1: Projeto e NBR 16828-2 Estruturas de Bambu - Parte 2: Determinação das Propriedades Físicas e Mecânicas do Bambu. E em 2022, a ABNT lançou a Consulta Nacional para o projeto de norma NBR 17043 - Varas de bambu para uso estrutural — Colheita, tratamento imunizante e classificação pelo diâmetro. Essa normalização é muito benéfica pois, de acordo com Rivero (2003 *apud* PEREIRA, 2012), a normalização dos ensaios é imprescindível para que possa existir uma comparação entre os ensaios de diversos autores e que também o bambu consiga ser aproveitado em sua totalidade.

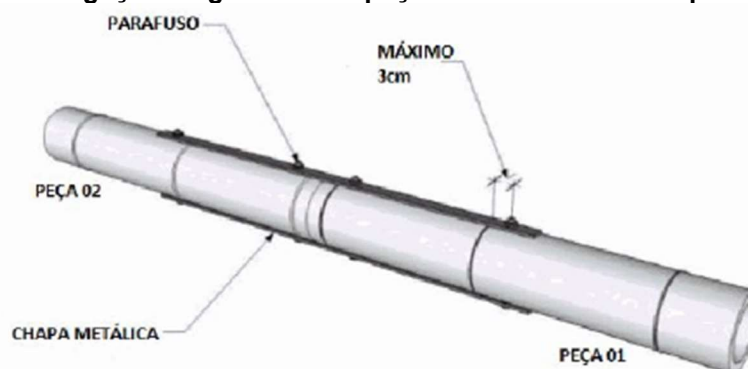
APÊNDICE B – Ligações e conexões entre peças roliças com colmos de bambu

Existem diferentes e variados tipos de cortes utilizados para a fabricação de conexões de elementos de bambu. Segundo a NBR 16828-1 (ABNT, 2020b), os três tipos de cortes mais utilizados são: o corte reto, o qual é um corte plano perpendicular ao eixo do bambu; o corte em boca de peixe, que é um corte côncavo transversal ao eixo; e o corte em bico de flauta, o qual é utilizado para unir peças que se encontram com ângulo diferente de 0° ou de 90° (Figura 72). Outros tipos de corte são: uma aba, duas abas e chanfrado (Figura 73) (LÓPEZ, 2003).



As ligações entre colmos de bambus podem ser feitas de diversas maneiras, e as recomendadas pela NBR 16828-1 (ABNT, 2020b) são: ligações com auxílio de chapas e/ou parafusos metálicos para união entre colmos (Figura 74); ligações com abraçadeiras, cintadas e amarradas; ligações com tarugos e peças de madeira; e ligações com luvas.

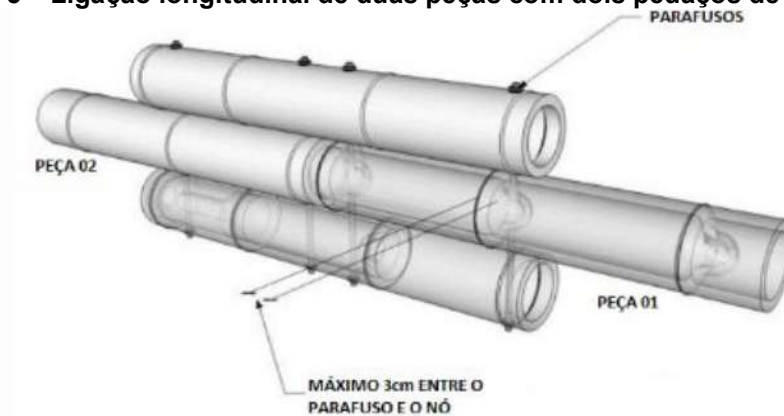
Figura 74 – Ligação longitudinal de peças de bambu com chapas metálicas



Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

A união dos colmos também pode ser feita com dois pedaços de bambu roliço (Figura 75), fixados com parafusos, dispostos paralelamente ao eixo longitudinal da união. Entre a porca do parafuso ou barra roscada e o bambu devem ser utilizadas arruelas, chapas metálicas ou outro material de resistência compatível (ABNT, 2020b).

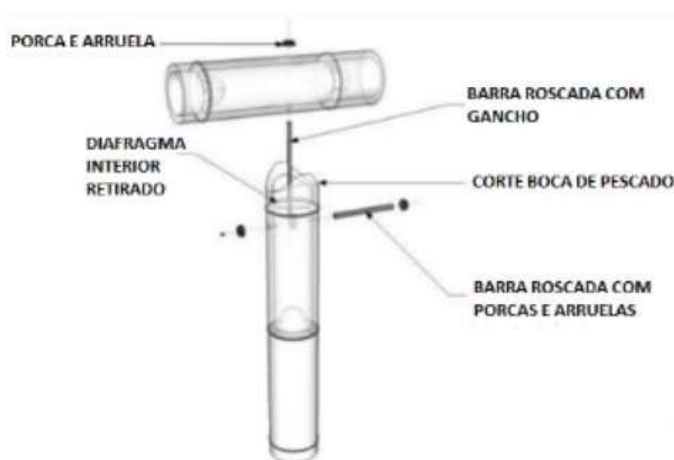
Figura 75 – Ligação longitudinal de duas peças com dois pedaços de bambu



Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

As conexões de bambu também podem ocorrer na posição perpendicular ou diagonal, na qual procura-se o maior contato possível entre as peças, realizando-se os cortes de forma correta, conforme a Figura 76. A rigidez da união deve ser assegurada utilizando os reforços necessários e recomendados pela norma, como ilustra a Figura 77 (ABNT, 2020b).

Figura 76 – Ligações perpendicular e diagonal

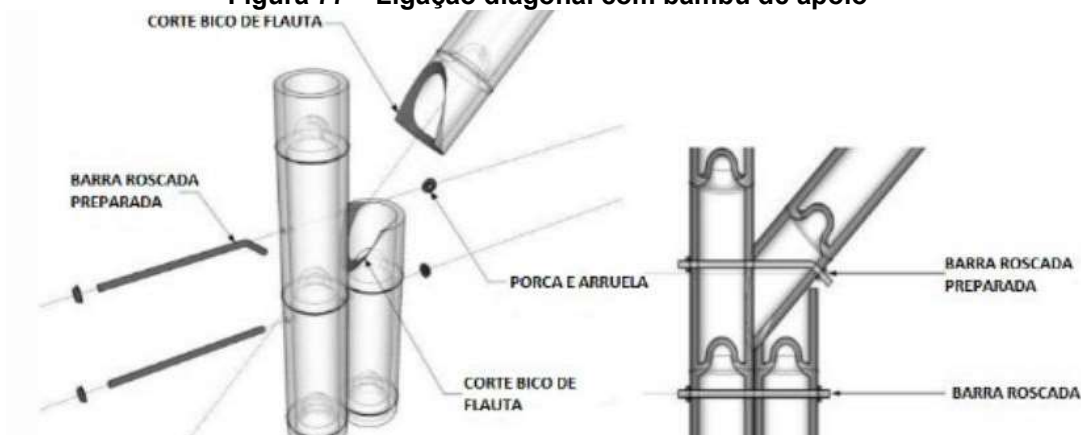


a) Ligação perpendicular com parafuso
Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)



b) Ligação diagonal

Figura 77 – Ligação diagonal com bambu de apoio



Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

No caso de uma união aparafusada longitudinalmente em relação ao eixo do colmo, deve-se garantir que não haja falha dos elementos relacionados à conexão (ABNT, 2020b). Existem também as ligações com ganchos e parafusos, que devem ser feitas conforme a Figura 78.

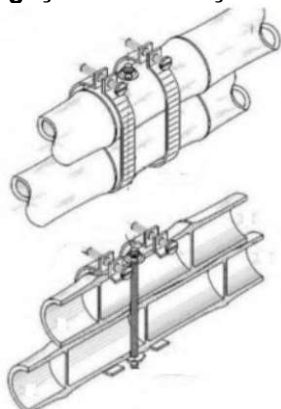
Figura 78 – Ligação com ganchos e parafusos



Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

O uso das abraçadeiras (Figura 79) é permitido desde que sejam tomadas as precauções adequadas para que assim seja evitado o esmagamento, a falha por compressão perpendicular às fibras em elementos individuais, a separação e o deslizamento entre os elementos conectados (ABNT, 2020b).

Figura 79 – Ligação com abraçadeiras metálicas



Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

Sobre as ligações amarradas, elas devem impedir o deslocamento e a folga da cinta de amarração ou da amarração em si. Para a amarração, podem-se utilizar vários materiais, como materiais metálicos, cordas, couros, plásticos e outros similares. As Figuras 80 e 81 são exemplos de ligações amarradas (ABNT, 2020b).



Além disso, as uniões também podem ser realizadas com tarugos (Figura 82), os quais devem ser de madeira estrutural, de bambu ou de outro material com resistência similar.



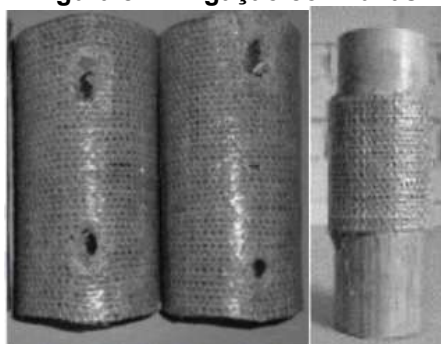
Outros materiais como peças roliças aparafusadas - de madeira ou bambu - podem ser utilizadas em ligações longitudinais de bambu. A Figura 83 apresenta uma ligação com peça roliça de madeira. Para isso, a peça é inserida dentro das pontas das duas peças de bambu a serem unidas e para a fixação (ABNT, 2020b).



Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

A norma também permite as ligações com luvas de materiais diversos, como indica a Figura 84. Se os elementos estiverem tracionados, parafusos ou cavilhas podem ser usados.

Figura 84 – Ligação com luvas



Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

Analogamente, ela possui recomendações sobre o preenchimento dos entrenós, o qual pode ser usado quando um entrenó estiver sujeito a uma força de esmagamento (compressão perpendicular às fibras). O preenchimento deve ser feito com argamassa ou outros materiais de resistência equivalente, conforme ilustra a Figura 85 (ABNT, 2020b).

Figura 85 – Preenchimento de entrenó com argamassa



Fonte: NBR 16828-1 (ABNT, 2020b)

APÊNDICE C – Questionário

Quadro 3 - Questionário

(continua)

PERGUNTAS	EMPRESA X	EMPRESA Y	EMPRESA Z
Qual a sua formação?	Arquiteta	Engenheiro Civil	Técnico meio ambiente
Desde quando você trabalha com bambu?	2001	2017	2001
Quantas obras você fez utilizando esse material?	3, usei o material mais como material de cursos de bioconstrução, arquitetura efêras na época da faculdade e mais recente em 2019 na minha dissertação de mestrado com painel de pau a pique	12 (Doze)	5
Qual é a espécie que você utiliza em suas construções para a parte estrutural com bambu atualmente?	Bambusa oldhamii, bambusa tuldoides. Tenho como regra no uso do bambu não utilizar concreto dentro do colmo por isso as estruturas que faço são pequenas com áreas bem delimitadas.	Dendrocalamus asper	Oldhami e Dendrocalamus asper
Quais dificuldades você encontra na elaboração do projeto e na execução de construções com bambu?	Pensar em projetos que sejam fáceis de executar e tenham formas mais simples de fazer manutenção e substituição de varas por causa da pouca durabilidade	Para projeto não há dificuldade, apenas especificidades do material bambu. Para a execução, as maiores dificuldades estão relacionadas à mão de obra com falta de capacitação específica para se construir com varas de bambu.	Matéria prima garantida por tratamento
Quais as principais recomendações você dá para uma habitação em bambu localizada no Florianópolis?	Sempre tratar e cuidar com as intempéries, principalmente a umidade, e pensar em soluções simples de encaixes utilizando amarrações com fio de poliamida e pino de bambu e/ou conexões metálicas	E as recomendações tradicionais para toda estrutura em bambu: elevar a base dos pilares de bambu em pelo menos 30 centímetros em relação ao solo; construir beirais largos e; aplicar Stein impregnante anualmente ao mesmo tempo em que realiza uma inspeção visual em todos os bambus da estrutura.	Evitar contato direto com o solo, proteção do bambu contra ação direta do sol e chuva e uma boa estrutura para suportar os ventos.

Quadro 3 - Questionário

(continuação)

PERGUNTAS	EMPRESA X	EMPRESA Y	EMPRESA Z
Como você faz a parte do sistema hidráulico?	Não costumo usar bambu para construções permanentes, neste caso procuro usar apenas na parte área da construção como em uma estrutura de cobertura da escola quilombola que ainda está em fase de construção. Com arquiteturas efêmeras já utilizei o bambu como estufa para plantas, galpão e pergolado.	Esgoto vai na fundação/contrapiso; Água fria e quente pelas paredes e também pelo contrapiso ou então aparente. Não atravesso os bambus com o sistema hidráulico	Só fiz pequenos galpões.
E como você faz a parte do sistema elétrico?	Na obra da escola quilombola faremos com eletrodutos e demais parte do sistema com materiais aparentes.	Aparente, pelo contrapiso ou por fora da casa.	Idem resposta anterior.
Você faz alguma análise do sistema estrutural em bambu? Você segue alguma recomendação técnica para estruturas em bambu?	Faço muita leitura em bibliografia em entidades reconhecidas como INBAR e BambuSC, tenho curso básico de estrutura de bambu e sigo as normas brasileiras ABNT já aprovadas	Sim, utilizo <i>software</i> de Análise de Elementos Finitos. Sigo recomendações técnicas das normativas da Colômbia, Peru, Equador e Brasil. Também sigo recomendações de diversos estudos acadêmicos, guias e manuais de construção com bambu (Ps. Estou terminando minha dissertação de mestrado e o tema engloba recomendações técnicas para estruturas em bambu).	Não.

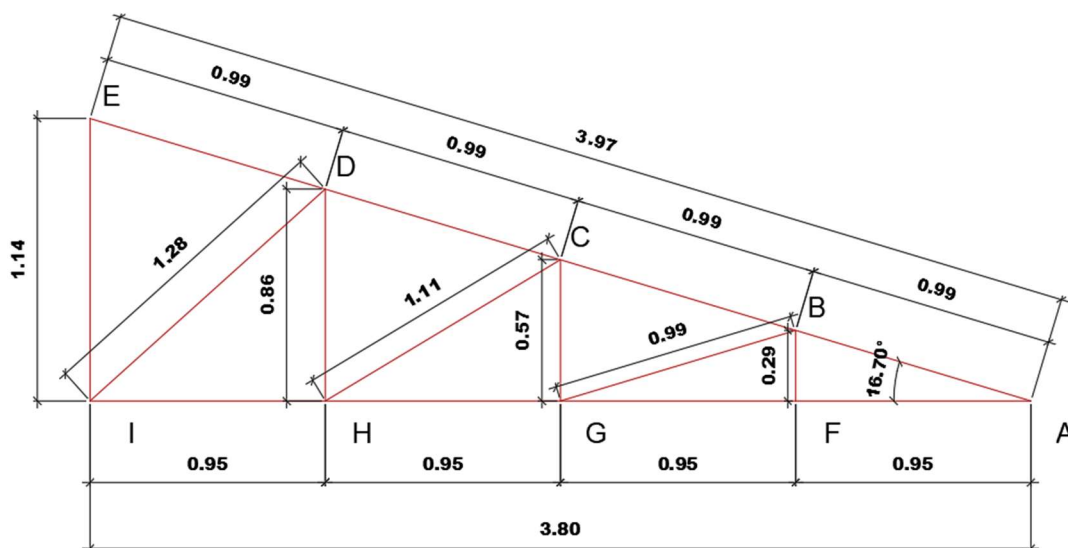
Fonte: Elaboração própria (2022)

APÊNDICE D – Dimensionamento das demais treliças

As mesmas considerações e o mesmo passo a passo foram seguidos para os cálculos das demais treliças. Também foram utilizadas as mesmas seções para todos os elementos. Ressalta-se que para o cálculo das ripas, são utilizadas as distâncias entre as ripas e os caibros, valores que são iguais para todas as meia treliças. Portanto, os valores encontrados são iguais aos apresentados no item 4.3.3.

A meia treliça 2 possui 04 montantes espaçados 0,95 m entre si, totalizando um vão de 3,80 m e 09 nós localizados entre 15 barras como a Figura 86 representa.

Figura 86 - Dimensões da Meia Treliça 2 (MT2)



Fonte: Elaboração própria (2022)

Para os caibros da meia treliça 2, a distância entre as terças é de 0,99 m. As características da seção dos caibros ainda são as mesmas das apresentadas na Tabela 20. Ademais, a Tabela 44 mostra os resultados obtidos para a carga permanente.

Tabela 44 - Carga permanente dos caibros da MT2

Carga Permanente - Caibro		
Telhas	Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,225
Ripas	Peso próprio [kN/m]	0,0008
Caibros	Peso próprio [kN/m]	0,0048
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m]		0,25

Fonte: Elaboração própria (2022)

A carga pontual de 1 kN foi considerada para as cargas acidentais porque os esforços solicitantes são maiores. Os esforços encontrados da carga acidental e

da carga permanente estão presentes nas Tabelas 45 e 46. Ressaltando que para os caibros os momentos fletores na direção y são nulos.

Tabela 45 - Esforços resultantes da carga acidental concentrada da MT2

Carga Acidental 1 kN - Caibro	
Carga por metro linear [kN]	1,000
M_{xk} [kNm]	0,238
N_k [kN]	0,145
V_k [kN]	0,480

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 46 - Esforços resultantes da carga permanente da MT2

Carga Permanente - Caibro	
M_{xk} [kNm]	0,029
N_k [kN]	0,036
V_k [kN]	0,120

Fonte: Elaboração própria (2022)

Após isso, a combinação de ações foi feita e os valores encontrados estão apresentados na Tabela 47.

Tabela 47 - Esforços resultantes de cálculo dos caibros da MT2

M_{xd} [kNm]	0,373
M_{yd} [kNm]	0,000
N_{xd} [kN]	0,254
V_{yd} [kN]	0,841

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os valores calculados para $\sigma_{N,d}$ e $\sigma_{M_x,d}$ são de 42,35 kN/m² e 6209,37 kN/m² respectivamente. Assim, o resultado das verificações do ELU para flexo compressão estão indicados na Tabela 48.

Tabela 48 - Verificações da borda comprimida e tracionada da MT2

Verificação - borda comprimida		Verificação - borda tracionada	
0,55	0,39	0,38	0,27

Fonte: Elaboração própria (2022)

Já para a estabilidade lateral, tem-se que o comprimento entre os apoios é de 0,99 m (distância entre as terças) e o comprimento de flambagem é de 0,99 m. Com isso, o índice de esbeltez na direção x encontrado foi de 57,262 e na direção y

foi de 34,357. O módulo de elasticidade continua com o valor de 10500,00 MPa. Os valores obtidos para $\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$ foram 1,258 e 0,755 respectivamente. Assim, foi verificado também as outras duas condições. Os valores obtidos para os coeficientes k_x , k_y , k_{cx} e k_{cy} e para as condições estão nas Tabelas 49 e 50.

Tabela 49 - Valores dos coeficientes de estabilidade da MT2

Kx	1,339
kcx	0,556
Ky	0,807
kcy	0,913

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 50 - Verificações de estabilidade MT2

Verificação - estabilidade	
0,46	0,46

Fonte: Elaboração própria (2022)

Conforme apresentado, as duas condições de estabilidade foram satisfeitas. O cisalhamento também foi calculado e o valor obtido foi de 210,17 kN/m² para τ_d , o que é menor do que o $f_{v0,d}$ que é 1680 kN/m², satisfazendo a condição.

As verificações relacionadas às flechas foram feitas com a carga acidental de 0,25 kN/m², valor que foi multiplicado pela distância entre os caibros (0,50 m), resultando em 0,125 kN/m. A Tabela 51 apresenta os valores máximos para as flechas e as Tabelas 52 e 53 mostram os resultados encontrados para as flechas nos caibros nas direções x e y.

Tabela 51 - Flechas admissíveis para a meia treliça 2

Flecha adm [cm]	
δadm inst [cm]	0,331
δadm fin [cm]	0,661
δadm net,fin [cm]	0,397

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 52 - Flechas dos caibros na direção x da meia treliça 2

Flecha [cm]	
δinst G,k [cm]	0,012
δinst Q,k [cm]	0,006
δinst [cm]	0,018
δfin [cm]	0,024

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 53 - Flechas dos caibros na direção y da meia treliça 2

Flecha [cm]	
$\delta_{inst G,k}$ [cm]	0,004
$\delta_{inst Q,k}$ [cm]	0,002
δ_{inst} [cm]	0,006
δ_{fin} [cm]	0,009

Fonte: Elaboração própria (2022)

Percebe-se que os dados obtidos são menores do que os admissíveis, atendendo assim às condições do ELS.

Para o dimensionamento das terças da meia treliça 2, as características da seção transversal continuam as mesmas e estão presentes na Tabela 30. Ademais, a Tabela 54 mostra os resultados obtidos para a carga permanente.

Tabela 54 - Carga permanente das terças da MT2

Carga Permanente - Terças	
Telhas	Peso próprio por metro linear [kN/m] 0,446
Ripas	Peso próprio [kN/m] 0,0008
Caibros	Peso próprio [kN/m] 0,0048
Terças	Peso próprio [kN/m] 0,010
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m] 0,51	

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para as cargas acidentais foram considerados os esforços resultantes da carga concentrada (Tabela 55). Ademais, na Tabela 56 estão presentes os esforços resultantes da carga permanente.

Tabela 55 - Esforços resultantes da carga concentrada nas terças da MT2

Carga Acidental - Terças	
Carga [kN]	1,000
M_{xk} [kNm]	0,504
M_{yk} [kNm]	0,152
V_{xk} [kN]	0,479
V_{yk} [kN]	0,144

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 56 - Esforços resultantes da carga permanente nas terças da MT2

Carga Permanente - Terças	
Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,51
M_{xk} [kNm]	0,269
M_{yk} [kNm]	0,081
V_{xk} [kN]	0,512
V_{yk} [kN]	0,155

Fonte: Elaboração própria (2022)

A combinação de ações foi feita com os mesmos coeficientes usados nas ripas e a Tabela 57 aponta os resultados encontrados.

Tabela 57 - Esforços resultantes de cálculo das terças da MT2

M_{xd} [kNm]	1,082
M_{yd} [kNm]	0,327
V_{xd} [kN]	1,388
V_{yd} [kN]	0,418

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para o ELU, foram verificadas a flexão oblíqua e o cisalhamento, como nas ripas. Os valores obtidos para $\sigma_{M_{x,d}}$ e $\sigma_{M_{y,d}}$ foram 3170,62 kN/m² e 1915,58 kN/m² respectivamente. Já para as condições de verificação, os resultados estão apresentados na Tabela 58.

Tabela 58 - Verificações da borda comprimida e tracionada das terças da MT2

Verificação - borda comprimida		Verificação - borda tracionada	
0,40	0,37	0,28	0,26

Fonte: Elaboração própria (2022)

Como a flexão é oblíqua, para o cisalhamento foi calculado $\tau_{x,d}$, $\tau_{y,d}$ e τ_d . A Tabela 59 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 59 - Esforços resultantes de cálculo das terças da MT2

$\tau_{x,d}$	162,64
$\tau_{y,d}$	48,97
τ_d	169,85

Fonte: Elaboração própria (2022)

Como a tensão máxima de cisalhamento, que é 169,85 kN/m², é menor do que a força cortante de 1.680 kN/m², a condição foi satisfeita.

Para os deslocamentos, a carga acidental de sobrecarga de 0,25 kN/m² foi considerada, resultando em 0,248 kN/m. A Tabela 60 indica os valores máximos para as flechas e as Tabelas 61 e 62 apresentam os dados encontrados para as flechas.

Tabela 60 - Flechas admissíveis das terças da MT2

Flecha adm [cm]	
$\delta_{adm\ inst}$ [cm]	0,700
$\delta_{adm\ fin}$ [cm]	1,400
$\delta_{adm\ net,fin}$ [cm]	0,840

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 61 - Flechas das terças na direção x para a meia treliça 2

$\delta_{inst\ G,k}$ [cm]	0,031
$\delta_{inst\ Q,k}$ [cm]	0,015
δ_{fin} [cm]	0,065
δ_{inst} [cm]	0,047

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 62 - Flechas das terças na direção y para a meia treliça 2

$\delta_{inst\ G,k}$ [cm]	0,126
$\delta_{inst\ Q,k}$ [cm]	0,061
δ_{fin} [cm]	0,259
δ_{inst} [cm]	0,187

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os deslocamentos resultantes são menores do que os admissíveis, logo, as condições do ELS foram atendidas.

A meia treliça 2 (Figura 86) possui as características da seção transversal iguais às da meia treliça 1, as quais estão presentes na Tabela 40. O peso próprio (gt) é de 0,055 kN/m² e a área de influência dos nós internos é a multiplicação entre a distância entre as treliças (2,10 m) e a distância entre os montantes (0,95 m) totalizando 2,00 m², já para os nós das extremidades, essa área é dividida pela metade. Os valores encontrados para a carga permanente dos nós internos e externos estão na Tabela 63.

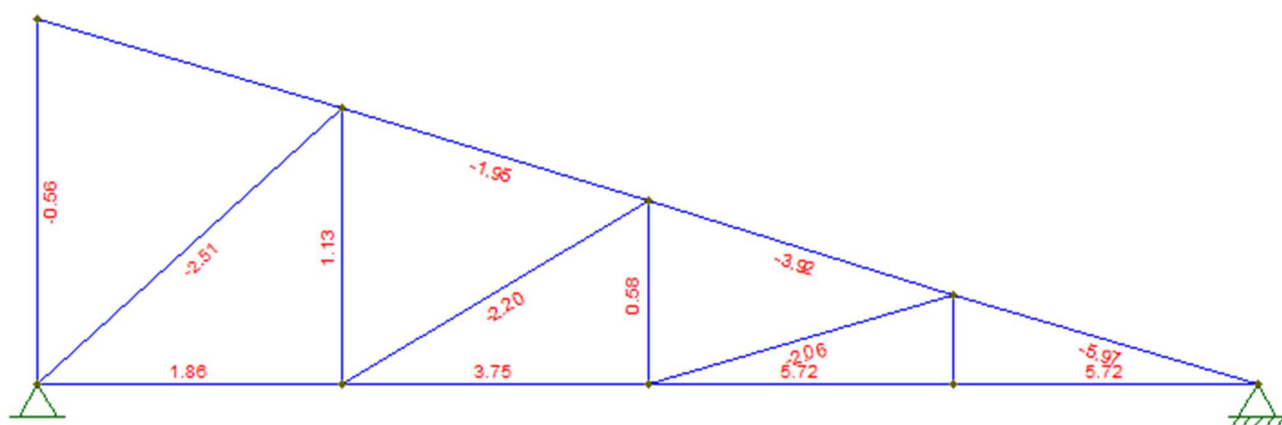
Tabela 63 - Carga permanente da meia treliça 2

Carga Permanente - Treliça		
Telhas	Peso próprio inclinado [kN/m ²]	0,450
	Carga telhas [kN] interna (B, C e D)	0,898
	Carga telhas [kN] externa (A e E)	0,449
Ripas	Carga ripas [kN/m ²]	0,00038
	Carga ripas [kN] interna (B, C e D)	0,00076
	Carga ripas [kN] externa (A e E)	0,00038
Caibros	Carga caibros [kN/m ²]	0,00229
	Carga caibros [kN] interna (B, C e D)	0,00456
	Carga caibros [kN] externa (A e E)	0,00228
Terças	Carga terças [kN/m ²]	0,005
	Carga terças [kN] interna (B, C e D)	0,010
	Carga terças [kN] externa (A e E)	0,005
Treliça	Peso próprio [kN/m ²]	0,055
	Carga treliça [kN] interna (B, C e D)	0,110
	Carga treliça [kN] externa (A e E)	0,055
Carga Permanente Total [kN] - nós internos (B, C e D)		1,13
Carga Permanente Total [kN] - nós das extremidades externa (A e E)		0,56

Fonte: Elaboração própria (2022)

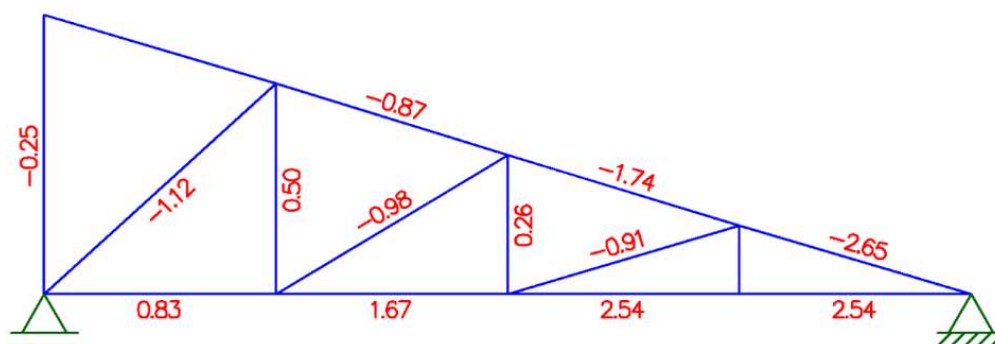
Para encontrar os esforços, a sobrecarga foi multiplicada pela área de influência. Nos nós internos o valor da carga pontual foi de 0,499 kN e para os nós externos, 0,249 kN. E a sobrecarga de 0,25 kN/m² gerou esforços maiores do que a carga pontual, sendo assim considerada para os cálculos. Os esforços resultantes pela carga permanente e acidental de sobrecarga estão apresentados nas Figuras 87 e 88, sendo que os esforços normais estão em vermelho.

Figura 87 - Esforços normais gerados pela carga permanente no software Ftool



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 88 - Esforços normais gerados pela carga acidental da sobrecarga no software Ftool



Fonte: Elaboração própria (2022)

Após isso, a combinação de ações foi feita e os resultados estão na Tabela 64. Salientando que os valores negativos são referentes à compressão e os positivos, à tração.

Tabela 64 - Esforços normais na meia treliça 2

Barras		Carga Permanente [kN]	Carga Acidental [kN]	Combinação de ações [kN]	
A	B	-5,97	-2,65	-12,07	COMPRESSÃO
B	C	-3,92	-1,74	-7,92	COMPRESSÃO
C	D	-1,95	-0,87	1,51	COMPRESSÃO
D	E	0,00	0,00	0,00	-
A	F	5,72	2,54	11,56	TRAÇÃO
F	G	5,72	2,54	11,56	TRAÇÃO
G	H	3,75	1,67	7,59	TRAÇÃO
H	I	1,86	0,83	3,77	TRAÇÃO
B	F	0,00	0,00	0,00	-
B	G	-2,06	-0,91	-4,16	COMPRESSÃO
C	G	0,58	0,26	1,18	TRAÇÃO
C	H	-2,20	-0,98	-4,45	COMPRESSÃO
D	H	1,13	0,50	2,28	TRAÇÃO
D	I	-2,51	-1,12	-5,08	COMPRESSÃO
E	I	-0,56	-0,25	-1,13	COMPRESSÃO

Fonte: Elaboração própria (2022)

Foram feitas duas verificações de compressão e tração e todas as barras satisfizeram essas condições. Além disso, a estabilidade lateral das peças que sofrem compressão também foi verificada. Conforme apresentado na Tabela 65, as verificações do $\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$ deram valores maiores do que 0,3, então as demais condições também foram verificadas e os resultados estão nas duas últimas duas colunas da Tabela 65 juntamente com os demais cálculos necessários para chegar nesses valores.

Tabela 65 - Verificação de estabilidade das barras comprimidas na MT2

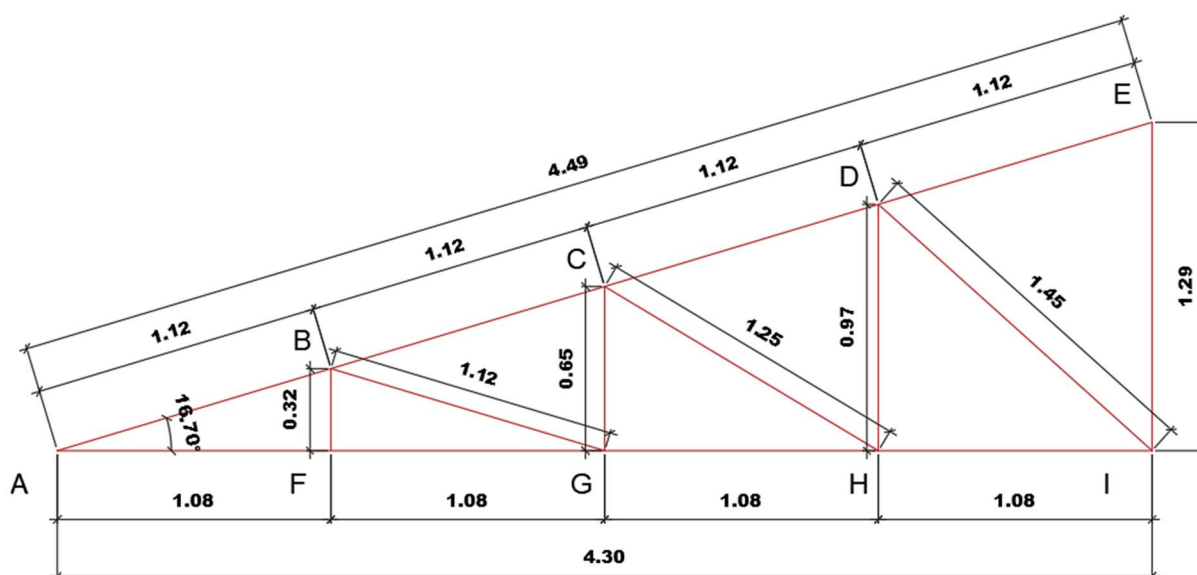
BARRA		L [m]	λ_x	λ_y	$\lambda_{rel,x}$	$\lambda_{rel,y}$	kx	ky	kcx	kcy	Verificação	
A	B	0,99	21,47	42,95	0,47	0,94	0,62	0,98	0,98	0,81	0,09	0,10
B	C	0,99	21,47	42,95	0,47	0,94	0,62	0,98	0,98	0,81	0,06	0,07
C	D	0,99	21,47	42,95	0,47	0,94	0,62	0,98	0,98	0,81	0,03	0,03
B	G	0,99	21,47	42,95	0,47	0,94	0,62	0,98	0,98	0,81	0,00	0,00
C	H	1,11	23,99	47,97	0,53	1,05	0,65	1,09	0,97	0,72	0,03	0,04
D	I	1,28	27,67	55,34	0,61	1,22	0,70	1,28	0,95	0,59	0,04	0,06
E	I	1,14	24,68	49,36	0,54	1,08	0,66	1,13	0,97	0,70	0,01	0,01

Fonte: Elaboração própria (2022)

Como os resultados das verificações apresentadas resultaram em valores menores do que 1, então elas satisfazem as condições necessárias.

A meia treliça 3 (Figura 89) também possui 04 montantes espaçados 1,08 m entre si, totalizando um vão de 4,30 m, e 09 nós localizados entre 15 barras.

Figura 89 - Dimensões da Meia Treliça 3 (MT3)



Fonte: Elaboração própria (2022)

Para os caibros da meia treliça 3, a distância entre as terças é de 1,12 m. As características da seção transversal dos caibros continuam as mesmas (Tabela 20). Os valores da carga permanente estão na Tabela 66.

Tabela 66 - Carga permanente dos caibros da MT3

Carga Permanente - Caibro		
Telhas	Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,225
Ripas	Peso próprio [kN/m]	0,0008
Caibros	Peso próprio [kN/m]	0,0048
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m]		0,25

Fonte: Elaboração própria (2022)

A carga pontual de 1 kN foi considerada para as cargas acidentais porque os esforços solicitantes são maiores, como os caibros das demais treliças. Os resultados da carga acidental e da carga permanente estão nas Tabelas 67 e 68.

Tabela 67 - Esforços resultantes da carga acidental concentrada dos caibros da meia treliça 3

Carga Acidental 1 kN - Caibro	
Carga por metro linear [kN]	1,000
M_{xk} [kNm]	0,269
N_k [kN]	0,145
V_k [kN]	0,480

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 68 - Esforços resultantes da carga permanente dos caibros da MT3

Carga Permanente - Caibro	
M_{xk} [kNm]	0,037
N_k [kN]	0,041
V_k [kN]	0,136

Fonte: Elaboração própria (2022)

Com esses valores, a combinação de ações foi feita. Os dados encontrados estão apresentados na Tabela 69.

Tabela 69 - Esforços resultantes de cálculo dos caibros da meia treliça 3

M_{xd} [kNm]	0,428
M_{yd} [kNm]	0,000
N_{xd} [kN]	0,261
V_{yd} [kN]	0,863

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os valores obtidos para $\sigma_{N,d}$ e $\sigma_{M_x,d}$ foram de 43,47 kN/m² e 7125,81 kN/m², respectivamente. Logo, o resultado das condições verificadas do ELU para flexo compressão estão indicados na Tabela 70.

Tabela 70 - Verificações da borda comprimida e tracionada dos caibros da MT3

Verificação - borda comprimida		Verificação - borda tracionada	
0,64	0,45	0,44	0,31

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para a estabilidade lateral, tem-se que o comprimento entre os apoios é de 1,12 m (distância entre as terças), o comprimento de flambagem é de 1,12 m e o índice de esbeltez na direção x é de 64,796 e na direção y foi de 38,878. Os valores encontrados para $\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$ foram 1,423 e 0,854 respectivamente. Por isso, foi verificado também as outras duas condições. Os resultados obtidos para os coeficientes k_x , k_{cx} , k_y , k_{cy} e para as condições estão presentes nas Tabelas 71 e 72.

Tabela 71 - Valores dos coeficientes de estabilidade da MT3

Kx	1,569
kcx	0,449
Ky	0,892
kcy	0,869

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 72 - Verificações de estabilidade da MT3

Verificação - estabilidade	
0,53	0,53

Fonte: Elaboração própria (2022)

Logo, as duas condições de estabilidade foram satisfeitas. Além disso, o cisalhamento foi calculado e o valor obtido para d foi de 215,72 kN/m², atendendo assim a norma por ser um valor menor do que o $f_{V0,d}$ o qual é 1680 kN/m².

As verificações relacionadas às flechas foram feitas com a carga acidental de 0,25 kN/m², que foi multiplicada pela distância entre os caibros (0,50 m), chegando em 0,125 kN/m. As Tabelas 73, 74 e 75 apresentam os valores máximos e os encontrados para as flechas nos caibros.

Tabela 73 - Flechas admissíveis para os caibros da meia treliça 3

Flecha adm [cm]	
δadm inst [cm]	0,374
δadm fin [cm]	0,748
δadm net,fin [cm]	0,449

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 74 - Flechas dos caibros na direção x da meia treliça 3

Flecha [cm]	
δinst G,k [cm]	0,019
δinst Q,k [cm]	0,010
δinst [cm]	0,029
δfin [cm]	0,040

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 75 - Flechas dos caibros na direção y da meia treliça 3

Flecha [cm]	
δinst G,k [cm]	0,007
δinst Q,k [cm]	0,003
δinst [cm]	0,010
δfin [cm]	0,014

Fonte: Elaboração própria (2022)

As condições do ELS e do ELU foram atendidas.

Os valores para a carga permanente das terças da meia treliça 3 estão na Tabela 76. Na Tabela 77 estão presentes os esforços resultantes da carga permanente.

Tabela 76 - Carga permanente das terças da MT3

Carga Permanente - Terças		
Telhas	Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,505
Ripas	Peso próprio [kN/m]	0,0008
Caibros	Peso próprio [kN/m]	0,0048
Terças	Peso próprio [kN/m]	0,010
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m]		0,57

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 77 - Esforços resultantes da carga permanente nas terças da MT3

Carga Permanente - Terças	
Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,57
M_{xk} [kNm]	0,303
M_{yk} [kNm]	0,092
V_{xk} [kN]	0,578
V_{yk} [kN]	0,174

Fonte: Elaboração própria (2022)

Já para as cargas acidentais também foram considerados os esforços resultantes da carga concentrada (Tabela 78).

Tabela 78 - Esforços resultantes da carga concentrada nas terças da MT3

Carga Acidental - Terças	
Carga [kN]	1,000
M_{xk} [kNm]	0,504
M_{yk} [kNm]	0,152
V_{xk} [kN]	0,479
V_{yk} [kN]	0,144

Fonte: Elaboração própria (2022)

A combinação de ações foi feita com os mesmos coeficientes usados nas ripas e a Tabela 79 indica os resultados encontrados.

Tabela 79 - Esforços resultantes de cálculo das terças da MT3

M_{xd} [kNm]	1,130
M_{yd} [kNm]	0,341
V_{xd} [kN]	1,479
V_{yd} [kN]	0,445

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os valores obtidos para $\sigma_{Mx,d}$ e $\sigma_{My,d}$ foram 3310,83 kN/m² e 2000,29 kN/m² respectivamente. Já para as condições de verificação, os resultados estão apresentados na Tabela 80.

Tabela 80 - Verificações da borda comprimida e tracionada das terças da MT3

Verificação - borda comprimida		Verificação - borda tracionada	
0,42	0,39	0,29	0,27

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para o cisalhamento foram calculados $\tau_{x,d}$, $\tau_{y,d}$ e τ_d . A Tabela 81 apresenta os resultados encontrados para $\tau_{x,d}$, $\tau_{y,d}$ e τ_d .

Tabela 81 - Esforços resultantes de cálculo das terças da meia treliça 3

$\tau_{x,d}$	173,33
$\tau_{y,d}$	52,19
τ_d	181,01

Fonte: Elaboração própria (2022)

Como a tensão máxima de cisalhamento, que é 181,01 kN/m², é menor do que a força cortante de 1.680 kN/m², a condição foi satisfeita.

Para as flechas, foi usada a carga acidental de sobrecarga de 0,25 kN/m², resultando em 0,281 kN/m. A Tabela 82 apresenta os valores máximos para as flechas e as Tabelas 83 e 84 apresentam os dados encontrados para as flechas.

Tabela 82 - Flechas admissíveis das terças para a meia treliça 3

Flecha adm [cm]	
$\delta_{adm\ inst}$ [cm]	0,700
$\delta_{adm\ fin}$ [cm]	1,400
$\delta_{adm\ net,fin}$ [cm]	0,840

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 83 - Flechas das terças na direção x para a meia treliça 3

$\delta_{inst\ G,k}$ [cm]	0,035
$\delta_{inst\ Q,k}$ [cm]	0,017
δ_{fin} [cm]	0,073
δ_{inst} [cm]	0,053

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 84 - Flechas das terças na direção y para a meia treliça 3

$\delta_{inst\ G,k}$ [cm]	0,193
$\delta_{inst\ Q,k}$ [cm]	0,095
δ_{fin} [cm]	0,399
δ_{inst} [cm]	0,288

Fonte: Elaboração própria (2022)

Percebe-se que os deslocamentos resultantes são menores do que os admissíveis e que as condições do ELS foram atendidas.

A meia treliça 3 (Figura 89) possui as características da seção transversal iguais às das treliças 01 e 02 (Tabela 40). O peso próprio (gt) é de 0,059 kN/m² e a área de influência dos nós internos é 2,26 m², já para os nós das extremidades, essa área é dividida pela metade. Os valores encontrados para a carga permanente dos nós internos e externos estão na Tabela 85.

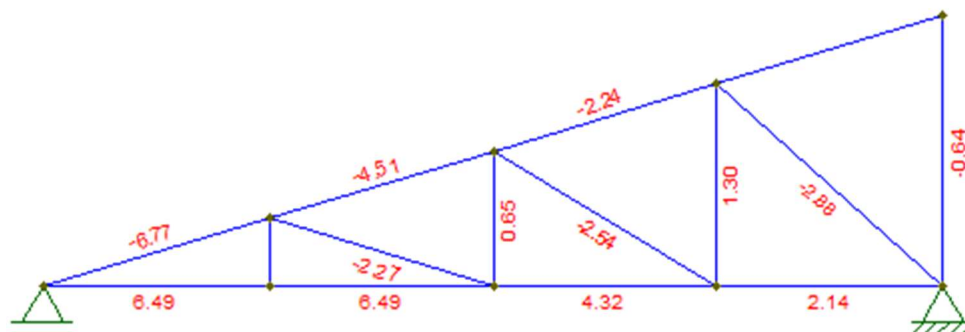
Tabela 85 - Carga permanente da meia treliça 3

Carga Permanente - Treliça		
Telhas	Peso próprio inclinado [kN/m ²]	0,450
	Carga telhas [kN] interna (B, C e D)	1,016
	Carga telhas [kN] externa (A e E)	0,508
Ripas	Carga ripas [kN/m ²]	0,00038
	Carga ripas [kN] interna (B, C e D)	0,00086
	Carga ripas [kN] externa (A e E)	0,00043
Caibros	Carga caibros [kN/m ²]	0,00229
	Carga caibros [kN] interna (B, C e D)	0,00516
	Carga caibros [kN]	0,00258
Terças	Carga terças [kN/m ²]	0,005
	Carga terças [kN] interna (B, C e D)	0,011
	Carga terças [kN] externa (A e E)	0,006
Treliça	Peso próprio [kN/m ²]	0,059
	Carga treliça [kN] interna (B, C e D)	0,134
	Carga treliça [kN] externa (A e E)	0,067
Carga Permanente Total [kN] - nós internos (B, C e D)		1,28
Carga Permanente Total [kN] - nós das extremidades externa (A e E)		0,64

Fonte: Elaboração própria (2022)

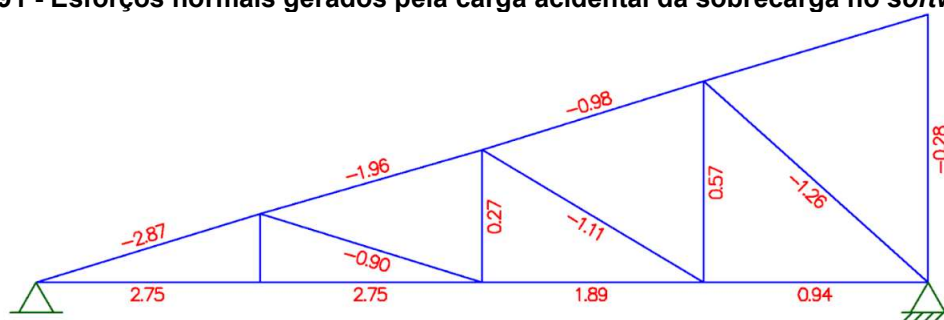
Como a sobrecarga de 0,25 kN/m² gerou esforços maiores do que a carga pontual, a primeira foi considerada para os cálculos da carga acidental. Nos nós internos o valor da carga pontual referente à sobrecarga foi de 0,564 kN e para os nós externos, 0,282 kN. Os esforços resultantes pela carga permanente e acidental de sobrecarga estão apresentados nas Figuras 90 e 91 sendo que os esforços normais estão em vermelho.

Figura 90 - Esforços normais gerados pela carga permanente no software Ftool



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 91 - Esforços normais gerados pela carga acidental da sobrecarga no software Ftool



Fonte: Elaboração própria (2022)

Depois, foi feita a combinação de ações e os esforços encontrados estão na Tabela 86. Destaca-se que os valores negativos são referentes à compressão e os positivos, à tração.

Tabela 86 - Esforços normais na meia treliça 3

Barras	Carga Permanente [kN]	Carga Acidental [kN]	Combinação de ações [kN]	
A B	-6,77	-2,87	-13,50	COMPRESSÃO
B C	-4,51	-1,96	-9,06	COMPRESSÃO
C D	-2,24	-0,98	-4,51	COMPRESSÃO
D E	0,00	0,00	0,00	-
A F	6,49	2,75	12,94	TRAÇÃO
F G	6,49	2,75	12,94	TRAÇÃO
G H	4,32	1,89	8,69	TRAÇÃO
H I	2,14	0,94	4,31	TRAÇÃO
B F	0,00	0,00	0,00	-
B G	-2,27	-0,90	-4,44	COMPRESSÃO
C G	0,65	0,26	1,27	TRAÇÃO
C H	-2,54	-1,11	-5,11	COMPRESSÃO
D H	1,30	0,57	2,62	TRAÇÃO
D I	-2,88	-1,26	-5,80	COMPRESSÃO
E I	-0,64	-0,28	-1,29	COMPRESSÃO

Fonte: Elaboração própria (2022)

As condições de compressão e tração foram feitas e todas as barras atenderam a essas condições. Além disso, a estabilidade lateral das peças que sofrem compressão também foi verificada. Conforme apresentado na Tabela 87, as verificações do $\lambda_{rel,x}$ e do $\lambda_{rel,y}$ deram valores maiores do que 0,3 e as demais condições precisaram ser verificadas. Os resultados das verificações estão nas duas últimas duas colunas da Tabela 87 juntamente com os demais cálculos necessários para chegar nesses valores.

Tabela 87 - Verificação de estabilidade das barras comprimidas na MT3

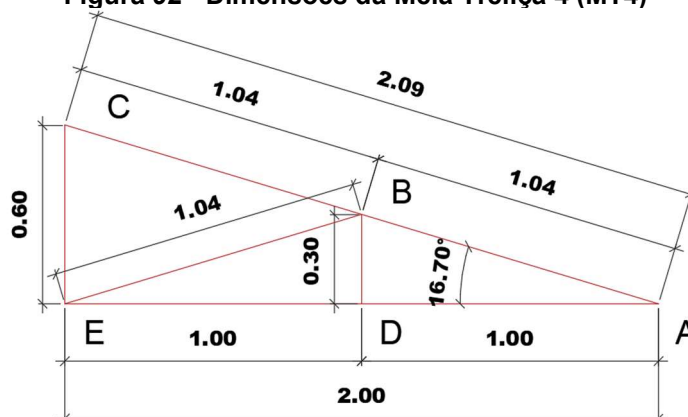
BARRA	L [m]	λ_x	λ_y	$\lambda_{rel,x}$	$\lambda_{rel,y}$	k_x	k_y	k_{cx}	k_{cy}	Verificação	
A B	1,12	24,30	48,60	0,53	1,07	0,65	1,11	0,97	0,71	0,10	0,13
B C	1,12	24,30	48,60	0,53	1,07	0,65	1,11	0,97	0,71	0,07	0,09
C D	1,12	24,30	48,60	0,53	1,07	0,65	1,11	0,97	0,71	0,03	0,04
B G	1,12	24,30	48,60	0,53	1,07	0,65	1,11	0,97	0,71	0,03	0,04
C H	1,25	27,14	54,29	0,60	1,19	0,69	1,26	0,96	0,61	0,04	0,06
D I	1,45	31,31	62,63	0,69	1,38	0,76	1,50	0,93	0,48	0,04	0,08
E I	1,29	27,93	55,86	0,61	1,23	0,70	1,30	0,95	0,58	0,01	0,02

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os resultados das verificações satisfazem as condições porque resultaram em valores menores do que 1.

E, por fim, tem-se a meia treliça 4 com 05 nós localizados entre 07 barras e 02 montantes espaçados 1,00 m entre si totalizando um vão de 2,00 m. A Figura 92 mostra a meia treliça 4.

Figura 92 - Dimensões da Meia Treliça 4 (MT4)



Fonte: Elaboração própria (2022)

Já para os caibros da meia treliça 4, tem-se que a distância entre as terças é de 1,04 m e os valores da carga permanente estão na Tabela 88. As características da seção transversal dos caibros continuam as mesmas (Tabela 20).

Tabela 88 - Carga permanente dos caibros da MT4

Telhas	Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,45
Ripas	Peso próprio [kN/m]	0,0008
Caibros	Peso próprio [kN/m]	0,0048
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m]		0,25

Fonte: Elaboração própria (2022)

A carga pontual de 1 kN também foi considerada para as cargas acidentais dos caibros da meia treliça 3 porque os esforços solicitantes são maiores. Os esforços resultantes da carga acidental e da carga permanente estão presentes nas Tabelas 89 e 90. Para os caibros os momentos fletores na direção y são nulos.

Tabela 89 - Esforços resultantes da carga acidental concentrada dos caibros da meia treliça 4

Carga Acidental 1 kN - Caibro	
Carga por metro linear [kN]	1,000
M_{xk} [kNm]	0,250
N_k [kN]	0,145
V_k [kN]	0,480

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 90 - Esforços resultantes da carga permanente dos caibros da MT4

Carga Permanente - Caibro	
M_{xk} [kNm]	0,032
N_k [kN]	0,038
V_k [kN]	0,127

Fonte: Elaboração própria (2022)

Com esses valores, a combinação de ações foi feita. Os esforços encontrados para os caibros estão presentes na Tabela 91.

Tabela 91 - Esforços resultantes de cálculo dos caibros da MT4

M_{xd} [kNm]	0,394
M_{yd} [kNm]	0,000
N_{xd} [kN]	0,257
V_{yd} [kN]	0,850

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os valores encontrados para $\sigma_{N,d}$ e $\sigma_{Mx,d}$ foram de 42,79 kN/m² e 6573,18 kN/m², respectivamente, e o resultado das condições verificadas para as bordas comprimida e tracionada do ELU para flexo compressão estão indicados na Tabela 92.

Tabela 92 - Verificações da borda comprimida e tracionada dos caibros da MT4

Verificação - borda comprimida		Verificação - borda tracionada	
0,59	0,41	0,41	0,28

Fonte: Elaboração própria (2022)

Já para a estabilidade lateral, tem-se que o comprimento entre os apoios e o de flambagem são 1,04 m. Com isso, o índice de esbeltez na direção x encontrado foi de 60,275 e na direção y foi de 36,165. Os valores encontrados para $\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$ foram 1,324 e 0,794 respectivamente. Por isso, foi verificado também as outras duas condições. Os resultados obtidos para os coeficientes k_y , k_{cy} , k_x e k_{cx} e para as condições estão presentes nas Tabelas 93 e 94.

Tabela 93 - Valores dos coeficientes de estabilidade da MT4

Kx	1,428
kcx	0,510
Ky	0,840
kcy	0,898

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 94 - Verificações de estabilidade da MT4

Verificação - estabilidade	
0,49	0,48

Fonte: Elaboração própria (2022)

Com base nos resultados apresentados, constata-se que as duas condições de estabilidade foram satisfeitas. Além disso, o cisalhamento foi calculado e o valor obtido para τ_d foi de 259,514 kN/m², atendendo assim a norma por ser um valor menor do que o $f_{v0,d}$, o qual é 1680 kN/m².

As verificações relacionadas às flechas foram feitas com a carga acidental de sobrecarga (0,25 kN/m²) multiplicada pela distância entre as terças, o que resultou em 0,125 kN/m. Os valores máximos para as flechas estão na Tabela 95 e os resultados encontrados para as flechas nos caibros estão nas Tabelas 96 e 97.

Tabela 95 - Flechas admissíveis para os caibros da meia treliça 4

Flecha adm [cm]	
$\delta_{adm\ inst}$ [cm]	0,348
$\delta_{adm\ fin}$ [cm]	0,696
$\delta_{adm\ net,fin}$ [cm]	0,417

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 96 - Flechas dos caibros na direção x da meia treliça 4

Flecha [cm]	
$\delta_{inst\ G,k}$ [cm]	0,015
$\delta_{inst\ Q,k}$ [cm]	0,007
δ_{inst} [cm]	0,022
δ_{fin} [cm]	0,030

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 97 - Flechas dos caibros na direção y da meia treliça 4

Flecha [cm]	
$\delta_{inst\ G,k}$ [cm]	0,005
$\delta_{inst\ Q,k}$ [cm]	0,003
δ_{inst} [cm]	0,008
δ_{fin} [cm]	0,011

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os dados obtidos são menores do que os admissíveis, atendendo assim às condições do ELS.

Para as terças, os dados da carga permanente e os esforços gerados estão nas Tabelas 98 e 99.

Tabela 98 - Carga permanente das terças da meia treliça 4

Carga Permanente - Terças		
Telhas	Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,470
Ripas	Peso próprio [kN/m]	0,0008
Caibros	Peso próprio [kN/m]	0,0048
Terças	Peso próprio [kN/m]	0,010
Peso Próprio Total Inclinado [kN/m]		0,53

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 99 - Esforços resultantes da carga permanente nas terças da MT4

Carga Permanente - Terças	
Peso próprio por metro linear [kN/m]	0,53
M_{xk} [kNm]	0,283
M_{yk} [kNm]	0,085
V_{xk} [kN]	0,538
V_{yk} [kN]	0,163

Fonte: Elaboração própria (2022)

Também foram considerados os esforços resultantes da carga concentrada para as cargas acidentais e os valores encontrados estão apresentados na Tabela 100. Ademais, a Tabela 101 aponta os resultados encontrados da combinação de ações.

Tabela 100 - Esforços resultantes da carga concentrada nas terças da MT4

Carga Acidental - Terças	
Carga [kN]	1,000
M_{xk} [kNm]	0,504
M_{yk} [kNm]	0,152
V_{xk} [kN]	0,479
V_{yk} [kN]	0,144

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 101 - Esforços resultantes de cálculo das terças da MT4

M_{xd} [kNm]	1,101
M_{yd} [kNm]	0,333
V_{xd} [kN]	1,424
V_{yd} [kN]	0,429

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os valores obtidos para $\sigma_{M_{x,d}}$ e $\sigma_{M_{y,d}}$ foram 3226,70 kN/m² e 1949,47 kN/m² respectivamente. Já para as condições de verificação, os resultados estão apresentados na Tabela 102.

Tabela 102 - Verificações da borda comprimida e tracionada das terças da MT4

Verificação - borda comprimida		Verificação - borda tracionada	
0,41	0,38	0,28	0,26

Fonte: Elaboração própria (2022)

Para o cisalhamento foram calculados $\tau_{x,d}$, $\tau_{y,d}$ e τ_d e a Tabela 103 apresenta os resultados encontrados.

Tabela 103 - Esforços resultantes de cálculo das terças da meia treliça 4

$\tau_{x,d}$	166,92
$\tau_{y,d}$	50,26
τ_d	174,32

Fonte: Elaboração própria (2022)

Como a tensão máxima de cisalhamento ($174,32 \text{ kN/m}^2$) é menor do que a força cortante (1.680 kN/m^2), a condição foi satisfeita.

Para as flechas, foi considerada a carga acidental de sobrecarga de $0,25 \text{ kN/m}^2$, resultando em $0,261 \text{ kN/m}$. A Tabela 104 apresenta os valores máximos para as flechas e as Tabelas 105 e 106 apresentam os dados encontrados para as flechas.

Tabela 104 - Flechas admissíveis das terças para a meia treliça 4

Flecha adm [cm]	
$\delta_{adm \text{ inst}}$ [cm]	0,700
$\delta_{adm \text{ fin}}$ [cm]	1,400
$\delta_{adm \text{ net,fin}}$ [cm]	0,840

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 105 - Flechas das terças na direção x para a meia treliça 4

$\delta_{inst \text{ G,k}}$ [cm]	0,033
$\delta_{inst \text{ Q,k}}$ [cm]	0,016
δ_{fin} [cm]	0,068
δ_{inst} [cm]	0,049

Fonte: Elaboração própria (2022)

Tabela 106 - Flechas das terças na direção y para a meia treliça 4

$\delta_{inst \text{ G,k}}$ [cm]	0,180
$\delta_{inst \text{ Q,k}}$ [cm]	0,088
δ_{fin} [cm]	0,372
δ_{inst} [cm]	0,268

Fonte: Elaboração própria (2022)

Os deslocamentos encontrados são menores do que os admissíveis. Logo, as condições do ELS foram atendidas.

A meia treliça 4 (Figura 92) possui as características da seção transversal iguais às das demais meia treliças, as quais estão presentes na Tabela 107. O peso próprio (g_t) é de $0,041 \text{ kN/m}^2$ e a área de influência dos nós internos é $2,10 \text{ m}^2$, já para os nós das extremidades, essa área é $1,05 \text{ m}^2$. Na Tabela 107 tem-se os valores encontrados para a carga permanente dos nós internos e externos.

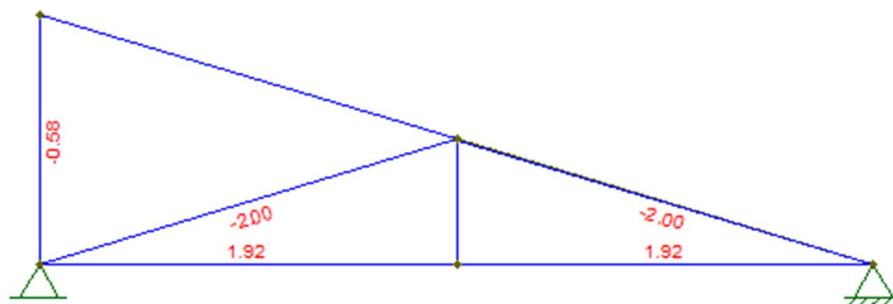
Tabela 107 - Carga permanente da meia treliça 4

Carga Permanente - Treliça		
Telhas	Peso próprio inclinado [kN/m ²]	0,450
	Carga telhas [kN] interna (B, C e D)	0,945
	Carga telhas [kN] externa (A e E)	0,473
Ripas	Carga ripas [kN/m ²]	0,00038
	Carga ripas [kN] interna (B, C e D)	0,0008
	Carga ripas [kN] externa (A e E)	0,0004
Caibros	Carga caibros [kN/m ²]	0,00229
	Carga caibros [kN] interna (B, C e D)	0,0048
	Carga caibros [kN] externa (A e E)	0,0024
Terças	Carga terças [kN/m ²]	0,005
	Carga terças [kN] interna (B, C e D)	0,010
	Carga terças [kN] externa (A e E)	0,05
Treliça	Peso próprio [kN/m ²]	0,041
	Carga treliça [kN] interna (B, C e D)	0,085
	Carga treliça [kN] externa (A e E)	0,043
Carga Permanente Total [kN] - nós internos (B, C e D)		1,15
Carga Permanente Total [kN] - nós das extremidades externa (A e E)		0,58

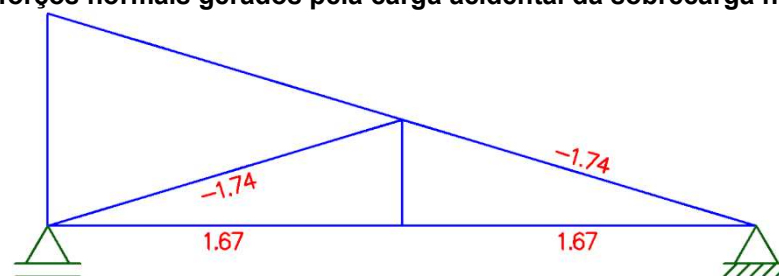
Fonte: Elaboração própria (2022)

Para encontrar os esforços, foi-se utilizada a carga pontual de 1 kN no meio do banzo superior da treliça, porque a carga concentrada de 1 kN gerou esforços maiores do que a carga pontual, sendo assim considerada para os cálculos. Os esforços resultantes pela carga permanente e acidental estão apresentados nas Figuras 93 e 94, sendo que os esforços normais estão em vermelho.

Figura 93 - Esforços normais gerados pela carga permanente no software *Ftool*



Fonte: Elaboração própria (2022)

Figura 94 - Esforços normais gerados pela carga acidental da sobrecarga no software *Ftool*

Fonte: Elaboração própria (2022)

Depois disso, foi feita a combinação de ações e os resultados estão na Tabela 108. Os valores positivos são referentes à tração e os negativos, à compressão.

Tabela 108 - Esforços normais na meia treliça 4

Barras	Carga Permanente [kN]	Carga Acidental [kN]	Combinação de ações [kN]	
A B	-2,00	-1,74	-5,24	COMPRESSÃO
B C	0,00	0,00	0,00	-
A D	1,92	1,67	5,03	TRAÇÃO
D E	1,92	1,67	5,03	TRAÇÃO
B D	0,00	0,00	0,00	-
B E	-2,00	-1,74	-5,24	COMPRESSÃO
C E	-0,58	0,00	-0,81	COMPRESSÃO

Fonte: Elaboração própria (2022)

Após isso, foram feitas duas verificações de compressão e tração e todas as barras atenderam essas condições. Além disso, a estabilidade lateral das peças que sofrem compressão também foi verificada. As verificações de $\lambda_{rel,x}$ e $\lambda_{rel,y}$ deram valores maiores do que 0,3, então as demais condições também foram verificadas e os resultados estão nas duas últimas duas colunas da Tabela 109 juntamente com os demais cálculos necessários para chegar nesses valores.

Tabela 109 - Verificação de estabilidade das barras comprimidas na MT4

BARRA	L [m]	λ_x	λ_y	$\lambda_{rel,x}$	$\lambda_{rel,y}$	k_x	k_y	k_{cx}	k_{cy}	Verificação	
A B	1,04	22,60	45,21	0,50	0,99	0,63	1,03	0,97	0,77	0,04	0,05
B E	1,04	22,60	45,21	0,50	0,99	0,63	1,03	0,97	0,77	0,04	0,05
C E	0,60	12,99	25,98	0,29	0,57	0,54	0,68	1,00	0,96	0,01	0,01

Fonte: Elaboração própria (2022)

Percebe-se que os resultados das verificações atenderam às condições porque resultaram em valores menores do que 1.