



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA E URBANISMO**



Andrea Salomé Jaramillo Benavides

**PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO PARA HABITAÇÃO DE
INTERESSE SOCIAL COM BAMBU GUADUA: UM ESTUDO DE
CASO NO EQUADOR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs

Florianópolis
2012

Catálogo na fonte elaborada pela Biblioteca da
Universidade Federal de Santa Catarina

B456p Benavides, Andrea Salomé Jaramillo
Proposta de sistema construtivo para habitação de interesse social com bambu guadua [dissertação] : um estudo de caso no Equador / Andrea Salomé Jaramillo Benavides ; orientador, Carlos Alberto Szücs. - Florianópolis, SC, 2012.
143 p.: grafs., plantas

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Inclui referências

1. Arquitetura. 2. Habitação popular. 3. Construção de bambu - Equador. I. Szücs, Carlos Alberto. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

CDU 72

Andrea Salomé Jaramillo Benavides

**PROPOSTA DE SISTEMA CONSTRUTIVO PARA HABITAÇÃO
DE INTERESSE SOCIAL COM BAMBU GUADUA: UM
ESTUDO DE CASO NO EQUADOR**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 20 de abril de 2012.

Prof. Dr. Ayrton Portilho Bueno,
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs,
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof.^a Dr.^a Ângela do Valle,
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof.^a Dr.^a Carolina Palermo,
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof.^a Dr.^a Juliana Cortez Barbosa,
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Este trabalho é dedicado aos meus pais, aos amigos, aos parceiros de sonhos e às pessoas que, com o coração cheio de esperança, auto-constroem suas moradias.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por ser um exemplo de vida e por sua dedicação, o apoio e amor incondicionais em cada um dos meus passos.

A toda minha família pelo incentivo e carinho que sempre me dão em qualquer lugar que eu esteja.

Aos amigos e voluntários da ONG que participaram na construção das habitações e disponibilizaram a informação para a realização deste trabalho.

Às senhoras Noemí e María por mais uma vez ter aberto as portas de suas casas para mim e contribuir com as entrevistas.

A Hogar de Cristo e Denisse Avilés pela gentileza que tiveram ao mostrar para mim o trabalho que desenvolvem.

Ao Arq. Jorge Morán Ubidia pela disponibilidade e pelo labor que desenvolve que é uma inspiração para novas gerações.

Ao meu orientador, o professor Carlos Szücs, pelo interesse na minha pesquisa, as palavras e o conhecimento compartilhado.

Às professoras membros da banca pela disponibilidade e suas contribuições para este texto.

Ao Pós-Arq, aos professores e à Ivonete e a Ana, secretarias do programa, por sua disposição e ajuda de sempre.

A CAPES pela bolsa de estudo que permitiu a realização do mestrado.

Aos colegas do GIEM (Grupo Interdisciplinar de estudos da Madeira – UFSC) e do mestrado no Pós-Arq.

Aos amigos conquistados durante o mestrado e a permanência em Florianópolis, que se tornaram uma segunda família para mim. Obrigada pela presença, suas palavras e todos os momentos compartilhados.

“El conocimiento nos hace responsables”
Ernesto (Che) Guevara

RESUMO

A redução dos custos sem comprometer a qualidade da construção para os setores de menor renda é um desafio, levando à procura de alternativas de materiais e suas aplicações. O presente trabalho consiste na análise da aplicação de bambu *Guadua Angustifolia Kunth* na construção de habitação de interesse social, que após sofrer um processo de usinagem apropriado, faz deste recurso natural um material com características físicas e mecânicas adequadas para ser aplicado na indústria da construção civil. Destacam-se, por um lado, pesquisas já desenvolvidas na área da otimização das propriedades do bambu para aproveitá-lo na construção; e por outro, a participação da população de baixa renda, como sujeito ativo na construção da sua própria moradia. Baseia-se num estudo de caso desenvolvido no Equador como principal ferramenta de avaliação para identificar os problemas mais comuns de deterioração do material durante o processo construtivo e depois da ocupação. Com base neste estudo foram definidas diretrizes e recomendações preventivas e corretivas para as patologias construtivas em bambu, sempre priorizando a permanência do *Guadua* como componente construtivo. A melhoria da proposta construtiva foi avaliada e comprovada por meio da Norma Brasileira de Desempenho NBR 15575 e da Norma colombiana NSR 10.

Palavras-chave: habitação de interesse social, bambu *Guadua*, sistemas construtivos.

ABSTRACT

The reduction of building costs without compromising the quality of the building is a challenge, especially for those parts of society that have the lowest income and this situation has risen the need for alternatives to be found. This study analyses the application of the bamboo *Guadua Angustifolia Kunth* in the construction of social housing. Bamboo is a natural resource that after a certain process becomes a building material with suitable physical and mechanical characteristics. The main focus of this research was the optimization of bamboo for its use in construction as well as the active participation of the low-income population in building their own homes. A case study carried out in Ecuador was used as a principal evaluation tool to identify the most common problems of bamboo deterioration during the house construction and occupation. Through the literature review, solutions to combat these problems were found that were later applied in the construction proposal in which the use of *Guadua* was prioritized. The improved construction proposal was evaluated and verified by the Brazilian Performance Standard NBR 15575 and Colombian Construction Systems Standard NSR 10.

Keywords: social housing, bamboo *Guadua*, construction systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Região da cultura do bambu <i>Guadua</i>	30
Figura 2 – Utilidades do bambu	36
Figura 3 – Tipos de bambu dependendo do padrão do rizoma.....	36
Figura 1 – Região da cultura do bambu <i>Guadua</i>	30
Gráfico 1 – Média de furos encontrados em colmos preservados de <i>Guadua</i> ...	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Composição química do bambu e madeiras coníferas e folhosas.	39
Quadro 2 – Espécies prioritárias de bambu de acordo com INBAR.	41
Quadro 3 – Fatores que afetam a durabilidade do bambu.	47
Quadro 4 – Estudo de caso: processo construtivo da casa.	73
Quadro 5 – Custo da proposta construtiva	113
Quadro 6 – Densidade, condutividade e calor específico dos materiais	121
Quadro 7 – Transmitância térmica de paredes externas.....	123
Quadro 8 – Capacidade térmica de paredes externas.....	124
Quadro 9 – Transmitância térmica de coberturas.....	125

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Média de furos encontrados em colmos preservados de <i>Guadua</i>	51
Gráfico 2- Processo do <i>Guadua</i> para sua aplicação na construção	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- APO – Avaliação Pós-Ocupação
- HIS – Habitação de Interesse Social
- INBAR – *International Network of Bamboo and Rattan*. Rede Internacional de Bambu e Rattan
- MIDUVI – *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda* – no Equador
- ONG – Organização não Governamental

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 OBJETIVOS	28
1.1.1 Objetivo Geral	28
1.1.2 Objetivos Específicos	28
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA	28
1.2.1 Habitação de Interesse Social e autoconstrução no Equador	28
1.2.2 O lugar do bambu <i>Guadua</i> na construção de casas de baixo custo....	29
1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	32
1.4 METODOLOGIA.....	32
1.4.1 Levantamento Bibliográfico.....	32
1.4.2 Estudo de caso.....	33
1.4.3 Elaboração da proposta construtiva	34
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	35
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	36
2.1 BAMBU E CONSTRUÇÃO	36
2.1.1 Características gerais do bambu	36
2.1.2 Vantagens e desvantagens do uso do bambu como material de construção	42
2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO <i>GUADUA</i> <i>ANGUSTIFOLIA</i>	44
2.2.1 Umidade	45
2.2.2 Densidade aparente	45
2.2.3 Resistência à tração paralela	45
2.2.4 Resistência ao cisalhamento.....	45
2.2.5 Resistência à compressão paralela	46
2.2.6 Resistência à flexão.....	46
2.3 MÉTODOS DE PRESERVAÇÃO DO BAMBU.....	47
2.3.1 Prevenção	48
2.3.2 Tratamento com produtos químicos	49
2.3.3 Um estudo comparativo	51

2.4 APROXIMAÇÃO HISTÓRICA DO USO DO <i>GUADUA</i> NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO.....	52
2.4.1 O caso de <i>Hogar de Cristo</i> no Equador.....	57
2.5 AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO E SUA IMPORTÂNCIA PARA A MELHORIA TECNOLÓGICA	60
2.6 SISTEMA CONSTRUTIVO E DESEMPENHO	62
2.6.1 Desempenho.....	63
2.6.2 Desempenho estrutural para construções com bambu	64
3 ESTUDO DE CASO	71
3.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO ANALISADO	71
3.1.1 Esclarecimentos prévios	71
3.1.2 Descrição geral do projeto.....	71
3.1.3 Tipologia da casa construída.....	72
3.1.4 Conclusões do processo de construção segundo o ponto de vista da ONG	77
3.2 AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO	78
3.2.1 Satisfação do usuário e análise de aspectos construtivos da casa 1.....	78
3.2.2 Satisfação do usuário e análise de aspectos construtivos da casa 2.....	84
3.2.3 Observações da casa 3	89
3.3 RECOMENDAÇÕES PARA O ESTUDO DE CASO	90
3.3.1 Etapa de projeto	90
4 DESENVOLVIMENTO PROPOSTA CONSTRUTIVA	95
4.1 A PREPARAÇÃO DO BAMBU <i>GUADUA</i>	95
4.1.1 Secagem	96
4.1.2 Preservação	97
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO	97
4.2.1 Fundações	98
4.2.2 Estrutura	101
4.2.3 Paredes.....	104
4.2.4 Cobertura	108
4.2.5 Janelas.....	110
4.3 POSSIBILIDADE DE AMPLIAÇÃO	111
4.4 CUSTO	112

4.4.1 Comparação de custo com uma habitação construída com alvenaria convencional.....	114
---	------------

5 ANÁLISE DE DESEMPENHO..... 116

5.1 EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA.....	116
5.1.1 Segurança estrutural	116
5.1.2 Segurança contra o fogo.....	118
5.1.2 Segurança no uso e na manutenção.....	118

5.2 EXIGÊNCIAS DE HABITABILIDADE	118
5.2.1 Estanqueidade.....	118
5.2.2 Desempenho térmico	119
5.2.3 Desempenho acústico.....	126
5.2.4 Desempenho lumínico.....	126
5.2.5 Saúde, higiene e qualidade do ar	126
5.2.6 Funcionalidade e acessibilidade.....	127
5.2.7 Conforto tátil e antropodinâmico	127

5.3 EXIGÊNCIAS DE SUSTENTABILIDADE.....	127
5.3.1 Durabilidade e manutibilidade	127
5.3.2 Adequação ambiental.....	128

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 130

6.1 CONCLUSÕES	130
6.1.1 Em relação à análise do projeto de HIS.....	130
6.1.2 Em relação aos problemas mais comuns de deterioração do material.....	131
6.1.3 Em relação às desvantagens do material e as possíveis soluções	131
6.1.4 Em relação às recomendações de melhoria tecnológica para o método construtivo considerando o perfil econômico dos usuários..	132

REFERÊNCIAS..... 134

ANEXO A..... 138

ANEXO B..... 138

1 INTRODUÇÃO

A redução dos custos sem comprometer a qualidade da construção para os setores de menor renda é um desafio, levando à procura de alternativas de materiais e suas aplicações.

Após alguns anos de participação como voluntária em diversas Organizações não Governamentais (ONGs) que trabalham com população de baixa renda no Equador, pôde-se observar e conhecer várias técnicas que empregam o bambu na construção da habitação de baixo custo, tanto de caráter emergencial, quanto definitivo.

São iniciativas que procuram contribuir para diminuir o déficit habitacional, utilizando como insumo, um recurso natural abundante na região, de custo acessível e culturalmente bem aceito pela população.

O bambu tem sido utilizado por milênios na Ásia e na América Latina. Alguns países como a Colômbia e o Equador conservam ainda a cultura de seu uso, sobretudo da espécie *Guadua Angustifolia Kunth*, endêmica da região. As pessoas que habitam nas zonas rurais e nas favelas das cidades, geralmente utilizam o bambu para construir suas próprias casas, ou parte delas. Isto se deve ao baixo custo desse material, facilmente encontrado nas serrarias, ou pela proximidade dos bambuzais.

O presente trabalho consiste na análise da aplicação de bambu *Guadua Angustifolia Kunth* na construção de habitação de interesse social, tendo em conta que é um recurso natural que depois de seguir um determinado processo, torna-se um material de construção com características físicas e mecânicas que o fazem apto para esse fim.

O potencial do bambu *Guadua Angustifolia* como material de construção é reconhecido por vários pesquisadores no mundo inteiro. Além disso, em algumas regiões, é uma matéria prima acessível para as pessoas de menor renda construir suas casas.

No entanto, no Equador de uma forma geral, a necessidade de reduzir custos, a falta de conhecimento do material ou a urgência de construir um abrigo com os recursos disponíveis, fazem com que muitas vezes a aplicação do bambu aconteça sem que se considerem as peculiaridades inerentes a este material, resultando em sua rápida deterioração e ocasionando desconfiança quanto ao seu emprego nas construções.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Considerando a realidade e o perfil econômico da população equatoriana, analisar a aplicação do bambu *Guadua Angustifolia* na construção de habitação de interesse social e propor melhorias na concepção construtiva.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar potencialidades e dificuldades na aplicação do bambu *Guadua* na construção de habitação de interesse social.
- b) Escolher e analisar uma edificação para uso habitacional, construída com bambu *Guadua*, identificando eventuais patologias.
- c) Recomendar melhorias no sistema construtivo usado no caso estudado, contribuindo para a resolução das patologias identificadas.
- d) Propor melhorias na concepção construtiva utilizando bambu com vistas a prevenir as patologias encontradas em campo.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA

1.2.1 Habitação de Interesse Social e autoconstrução no Equador

A Habitação de Interesse Social (HIS) surgiu como resposta à necessidade dos setores mais pobres da população de possuírem um lugar para morar. Esta demanda foi inicialmente evidenciada nos centros urbanos, os quais, depois da revolução industrial, apresentaram um elevado crescimento demográfico como consequência da imigração.

Esse crescimento acelerado iniciou na América Latina na segunda metade do século XX. Segundo UN Habitat ([2010]), a porcentagem de urbanização na América do Sul em 2010 era de 83,7%, dessa porcentagem, 23,5%, que equivale a 110 763 000 habitantes, moravam em favelas.

Os assentamentos urbanos informais ocorrem porque geralmente os habitantes com menor renda, diante da falta de moradia, enfrentam o problema de duas maneiras: formalmente, por meio dos programas institucionais de HIS, ou informalmente, por meio da autoconstrução.

Dentro dessa realidade é que a habitação social é produzida pelo setor privado e financiada por órgãos estatais visando atender a população de baixa renda. Muitas vezes, o Estado dá incentivos ao setor privado para participar desses programas, que atuam frequentemente nas zonas urbanas.

Porém, mesmo com esses esforços combinados, entre Estado e setor privado, para resolver a questão do direito à moradia, dentro de programas que promovam a construção da habitação social em larga escala, grande parte da população ainda não tem condições econômicas de acesso aos mesmos e, resolvem o problema por conta própria, através da autoconstrução.

Nesses processos de autoconstrução, os usuários fazem suas casas aproveitando os recursos que possuem: em mutirões e usando os materiais disponíveis para resolver inicialmente as necessidades mais básicas de abrigo.

1.2.2 O lugar do bambu *Guadua* na construção de casas de baixo custo

O *Guadua Angustifolia* é uma das mais importantes espécies de bambu no mundo devido a sua grande resistência mecânica e durabilidade. É o melhor material para as estruturas dos edifícios, possuindo também grande potencial para a manufatura de materiais compósitos. (HIDALGO, 2003)

O *Guadua* é endêmico da América do Sul e sua abundância permitiu à população usá-lo para vários fins durante muito tempo. Como está descrito no texto do professor James Parson (1991 apud GUTIÉRREZ 2000, p. 29) referindo-se à região do litoral equatoriano próxima à cidade de Guayaquil:

O fácil acesso por via fluvial até as florestas de bambu facilitou a integração da cana-gigante versátil na cultura material dos povos do litoral e tem feito isso há pelo menos cinco milênios, como é demonstrado por provas da sua utilização nos primeiros sítios arqueológicos.

E também denominou “região de cultura do *Guadua*” à região compreendida por duas áreas: a primeira correspondente ao departamento de Caldas, Rissaralda e Quindío na Colômbia, a segunda

nas terras baixas das províncias de Esmeraldas, Manabí e Guayas no Equador, tendo citado:

Tão próxima é a ligação desta impressionante planta a praticamente todos os aspectos da vida e da cultura popular

Na Figura 1 encontra-se indicada a localização da região referida no Equador e na Colômbia.



Figura 1 – Região da cultura do bambu *Guadua*.

Fonte: Gutiérrez (2000).

Essas citações de Parson correspondem a abundância e aos múltiplos usos do *Guadua* na construção, indicando uma “cultura do *Guadua*”, que ainda sobrevive nesses países apesar da massificação do uso dos materiais de construção “modernos”. Uma amostra disso é que o *Guadua* pode ser encontrado em qualquer serraria e com custos muito acessíveis.

Atualmente, muitas casas das regiões urbano-marginais de várias cidades do litoral equatoriano e de algumas regiões da Colômbia, são realizadas integralmente com madeira e *Guadua*; fato que tem contribuído para criar no imaginário da população a idéia do *Guadua* como “material de pobres”. (MORÁN, 2006)

Em geral pode-se dizer que esse preconceito em relação ao bambu *Guadua* tem seu fundamento devido ao uso inapropriado do material, posto que nesses casos, ele tem sido aplicado sem um tratamento que lhe confira maior vida útil e sem a preocupação de otimização de seu uso pelo conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas.

Mas, em contraposição, as construções em áreas rurais destes países têm utilizado ao longo dos anos o *Guadua* como insumo para desenvolver uma arquitetura vernácula de alto valor. (MORÁN, 2006).

Uma das aplicações mais conhecidas do material é na técnica tradicional de construção com terra, conhecida no Brasil como taipa-de-mão, taipa ou pau-a-pique. Na América Central, Colômbia, Bolívia, Peru, Equador e Chile é conhecida como *bahareque* ou *quincha*. Esta técnica corresponde a uma estrutura de madeira e/ou bambu preenchida com barro ou argamassa de cimento, apresentando algumas variações dependendo de cada região.

Esse tipo de construção é muito empregado naqueles países de regiões vulcânicas, da *Cordillera de los Andes*, por estarem sujeitas a abalos frequentes, pois apresentam um ótimo comportamento frente a abalos sísmicos e terremotos. Isto ocorre principalmente pela flexibilidade natural que o bambu apresenta e que lhe confere nesses países a alcunha popular de “aço vegetal”.

O rápido crescimento do bambu permite seu aproveitamento contínuo após cinco anos do seu plantio, tornando-o uma alternativa ao uso de madeiras na construção. Um exemplo disso é o *Proyecto Nacional Bambú* executado na Costa Rica, onde em 1988 nem sequer existia *Guadua*, e depois de quatro anos do plantio, foram construídas 2000 moradias e posteriormente se decidiu edificar 7200 casas de baixo custo.

São precisamente estas experiências de aplicações exitosas que servem de insumo e de motivação para desenvolver várias pesquisas que procuram uma paulatina melhoria da aplicação do bambu *Guadua* na construção; que vão desde laminados, painéis, pisos, móveis até o emprego estrutural. Porém, paralelamente às pesquisas é preciso aplicar os conhecimentos já existentes e fazer avaliações.

No caso da habitação de interesse social construída com bambu, a avaliação pós-ocupação é fundamental para permitir uma evolução visando aperfeiçoar as aplicações do material, bem como sua contínua adaptação às necessidades e preferências do usuário.

Tendo em conta o exposto anteriormente, será investigado no presente trabalho, com base num estudo de caso, como pode ser melhorada a técnica de aplicação de bambu *Guadua* na construção de HIS, para os setores de menor renda da população do Equador.

Desta forma, pretende-se com o presente estudo propor diretrizes e recomendações para uma melhor aplicação do bambu, como recurso natural, econômico e resistente, que contribua para uma melhoria da qualidade de vida das pessoas que procuram um abrigo definitivo para morar.

1.3 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho está focado na habitação de interesse social, dirigida à população equatoriana, cujo usuário pertence ao setor de mais baixa renda da população, cuja renda familiar não supera os 200 dólares americanos, aproximadamente 330 reais, por mês. Esta limitação econômica é um dos aspectos mais importantes a serem considerados na etapa de elaboração da proposta construtiva.

Além disso, o estudo estará focado no sistema construtivo das habitações, deixando claro que não se aprofundará em outros aspectos importantes, tais como as questões funcionais e a inserção urbana das casas, posto que a intenção desta pesquisa é a de oferecer como primeiro passo uma série de recomendações a serem tomadas em conta na aplicação do material.

1.4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho, a pesquisa foi dividida em três etapas principais que permitiram uma melhor organização de conteúdos: levantamento bibliográfico, estudo de caso e elaboração da proposta construtiva.

1.4.1 Levantamento Bibliográfico

No primeiro momento desta pesquisa foi realizado um levantamento bibliográfico sobre os seguintes temas:

- a) O sistema construtivo e a qualidade. Para entender os conceitos nos quais está fundamentada esta pesquisa.
- b) Avaliação Pós-ocupação. Para escolher a metodologia utilizada no desenvolvimento do estudo de caso.
- c) Bambu *Guadua* e construção. Para conhecer as possibilidades que esta espécie de bambu oferece como material construtivo.

1.4.2 Estudo de caso

O estudo de caso é uma categoria de pesquisa onde se faz uma análise bem definida sobre: um programa, uma instituição, um sistema, um processo, uma pessoa ou uma unidade social; para conhecer os “como” e os “porquês”, evidenciando a sua unidade e identidade, próprias. É uma investigação de caráter particular, apoiada numa situação específica, onde se procura descobrir o mais essencial e característico. (MARTINS, 2011)

Segundo a mesma autora, os estudos de caso visam à descoberta, enfatizam a interpretação em contexto, buscam retratar a realidade de forma completa e profunda, usam uma variedade de fontes de informação, revelam experiência vicária, permitem generalizações naturalísticas e procuram representar os diferentes pontos de vista presentes numa situação social. Os estudos de caso podem ser exploratórios, descritivos ou comparativos.

Considerando que o objetivo desta pesquisa foi analisar a técnica de construção de HIS com bambu *Guadua* e propor uma melhoria para a mesma, nesta segunda etapa desenvolveu-se um estudo de caso descritivo baseado na Avaliação Pós-Ocupação.

Para isto foi selecionado um projeto de HIS construído na cidade de *Santo Domingo de los Tsáchilas*, no Equador. Esse projeto foi executado por uma ONG no ano 2008. Utilizou-se como matéria prima bambu *Guadua* para a proposta arquitetônica e foi considerada a participação comunitária e de voluntários durante o processo de construção.

A escolha deste projeto obedeceu à proximidade da autora com a referida ONG e seu conhecimento do processo utilizado para esta e outras construções similares. A Avaliação Pós-Ocupação está fundamentada nas questões técnico-construtivas e sociais, além de basear-se nas percepções dos usuários e da instituição construtora, assim como na visita in loco para observar o estado de conservação das casas.

Nesta etapa, foram realizadas entrevistas com membros da ONG e com os usuários das casas estudadas, assim como um levantamento

fotográfico; ferramentas que facilitaram a análise posterior dos dados levantados.

As entrevistas foram realizadas de maneira informal, pessoalmente e gravadas, permitindo uma melhor interação com os entrevistados e facilitando uma análise posterior das gravações na procura de detalhes.

Os temas abordados na entrevista com os membros da ONG foram:

- a) Questões técnicas:
 - Como foi definido o projeto das casas?
 - Processo e tempo de construção.
 - Materiais e razões para o uso.
 - Custo e forma de pagamento.

- b) Questões humanas:
 - Perfil dos usuários.
 - Aceitação do usuário em relação à tecnologia.
 - Percepção de satisfação do usuário.
 - O que mudariam no projeto e no processo.

Por outro lado os temas tratados na entrevista com os moradores foram:

- Número de moradores.
- Serviços com que contam.
- Problemas percebidos.
- Opinião sobre o processo.
- Quais foram os problemas apresentados na casa?
- Percepção estética.
- Modificações pretendidas e realizadas.

Na avaliação das modificações feitas pelos usuários, foram consideradas principalmente as comparações entre plantas e fachadas iniciais com as atuais.

1.4.3 Elaboração da proposta construtiva

O terceiro momento correspondeu à sistematização, estruturação dos resultados das etapas anteriores e identificação das recomendações necessárias para a melhoria do sistema construtivo, considerando sua

aplicação numa casa de interesse social, na qual se prioriza o uso de bambu *Guadua* na maioria dos elementos que a compõem.

Depois, foi analisado cada subsistema construtivo que constitui a habitação do estudo de caso, descrevendo as mudanças que deveriam ser realizadas para sua melhoria.

Finalmente, realizou-se uma análise de desempenho da habitação, fundamentada na normativa brasileira ABNT NBR 15575¹ (2008), como um meio de avaliação qualitativa da proposta, baseada nas exigências dos usuários.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo 1 contém o assunto da pesquisa, sua justificativa e delimitação, expõe o problema e os objetivos a serem alcançados e finalmente a metodologia usada.

O capítulo 2 abarca a revisão bibliográfica. Mostra as definições de sistema construtivo e qualidade. Explica em que consiste a avaliação pós-ocupação e aprofunda no tema de bambu *Guadua* como material de construção.

No capítulo 3 encontra-se a descrição do estudo de caso realizado, inclui a análise e recomendações.

O capítulo 4 descreve a proposta de aplicação das recomendações de uso de bambu *Guadua* na mesma habitação analisada no estudo de caso. Explica o processo de preparação do material e faz uma caracterização do sistema construtivo.

Dentro do capítulo 5 está a análise de desempenho da habitação, dividida segundo as exigências do usuário: de segurança, habitabilidade e sustentabilidade.

Finalmente o capítulo 6 apresenta as conclusões da pesquisa, baseadas nos tópicos mais relevantes do trabalho. Também inclui uma lista de recomendações que possam contribuir no desenvolvimento de futuras pesquisas sobre o assunto.

¹ Norma de Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BAMBU E CONSTRUÇÃO

2.1.1 Características gerais do bambu

O bambu é uma gramínea monocotiledônea, pertencente às angiospermas. Dentro do reino vegetal pertence à família *graminae*, subfamília *bambusoideae*. (HIDALGO, 2003).

Por esta razão tem características que o diferenciam das outras monocotiledôneas, como o fato de que o colmo nasce já com o diâmetro que terá na fase adulta. Tem grande importância ambiental posto que é a planta de mais rápido crescimento na superfície terrestre, produz colmos sem necessidade de replantio e além disso sequestra carbono. Tudo isto tem feito do bambu uma alternativa não só de reflorestamento, mas também como alimento, artesanato e na construção (Figura 2).

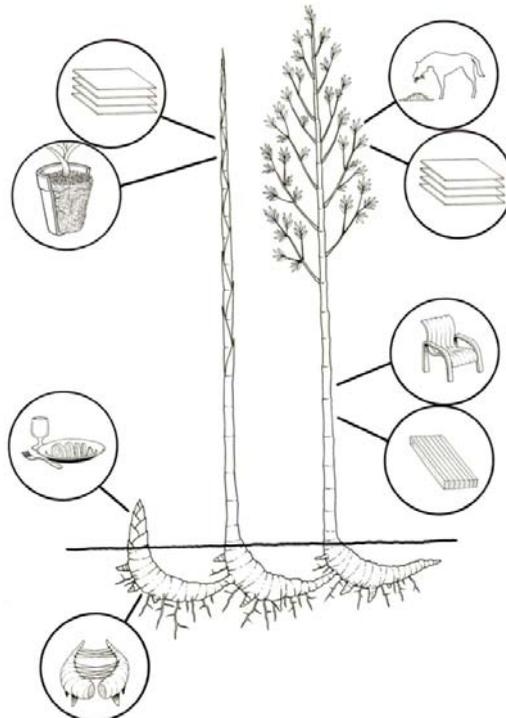


Figura 2 – Utilidades do bambu.
Fonte: Greco e Cromberg (2011).

Dependendo do tipo de bambu em cada fase do seu crescimento possui um uso adequado. Com 30 dias os brotos podem ser usados como alimento. Entre os 6 e 12 meses é útil para fazer cestas e outros bens tecidos. Aos 2 anos os colmos podem ser divididos em tiras ou transformados em esteiras. Após os 3 anos (até os 6) algumas espécies podem ser usadas na construção. Além disso, todas as partes da planta podem ser aproveitadas.

O bambu é composto por uma parte aérea e uma subterrânea. A parte aérea é denominada colmo e na maioria das espécies é oco. A parte subterrânea é formada pelo rizoma e raízes. O colmo está composto por uma seqüência de entrenós, separados por nós, nos quais se originam as folhas e os ramos (Figura 3). O diâmetro do colmo é maior na base e diminui com a altura.

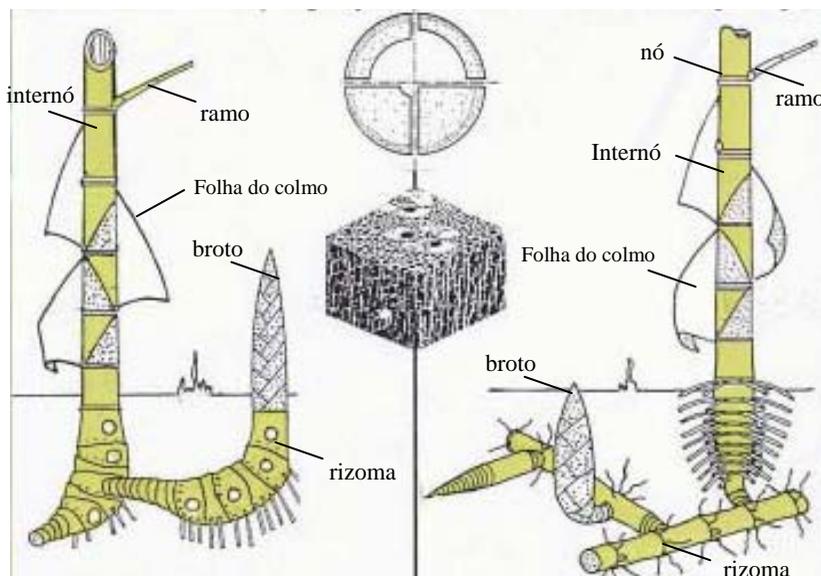


Figura 3 – Tipos de bambu dependendo do padrão do rizoma.
Fonte: Hidalgo (2003). Tradução realizada pela autora.

No mundo inteiro existem mais de 1200 espécies de bambus classificados em dois grupos de acordo com o padrão do rizoma: leptomorfos, alastrantes ou monopodiais – presentes nas regiões

temperadas, e paquimorfos, entouceirantes ou simpodiais – nas regiões tropicais.

Existe também o subgrupo dos metamorfos que é uma combinação destes principais, mas que não apresentam uma relação com a posição geográfica. (HIDALGO, 2003)

Quanto à anatomia do colmo, a maioria das células está orientada na direção longitudinal, ou seja, paralelas ao eixo de crescimento, enquanto as interconexões transversais aparecem somente nos nós. Esta parte interna dos nós é conhecida como diafragma. (Figura 4)

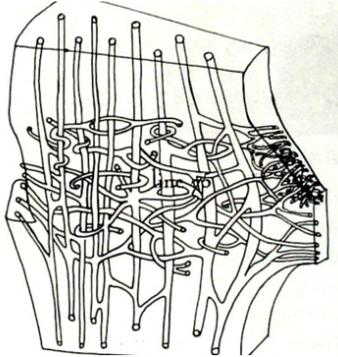


Figura 4 – Disposição de fibras no diafragma do colmo de bambu
Fonte: Liese (1998).

Pereira e Beraldo (2008) descrevem a parte externa do colmo como sendo constituída por duas camadas de células epidérmicas cobertas por uma camada cutinizada e com cera. Mais internamente está uma camada espessa e altamente lignificada, constituída por um feixe de fibras, que dificulta qualquer movimentação lateral de líquidos.

O tecido de um colmo está composto pelas células de parênquima (50%), os feixes vasculares (10%) e os feixes de fibras (40%). Cada um deles tem uma função determinada: o tecido parenquimatoso é aquele que envolve as fibras e os vasos. É mais denso na parede interna e sua função é a de estocar os nutrientes e a água. Os feixes vasculares (ou vasos) são os tecidos condutores e as fibras são as principais responsáveis pela resistência mecânica do colmo, pois elas protegem os feixes vasculares e estão mais concentradas no exterior e na parte superior do colmo. (Figura 5)

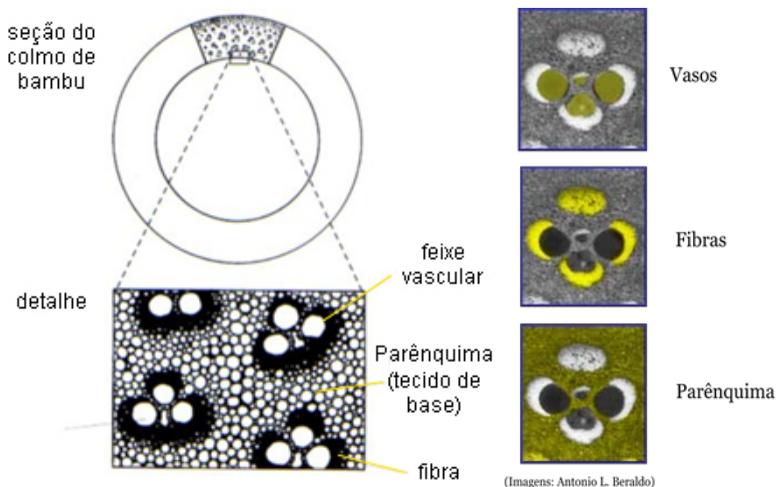


Figura 5 – Composição do tecido do colmo de bambu
 Fonte: esquerda: Bell (2000), direita: Antonio L. Beraldo

Quanto à composição química, os principais constituintes dos colmos de bambu são: celulose (55%), hemicelulose e lignina (25%), além de outros em menor quantidade como resinas, taninos, ceras e sais inorgânicos. A celulose e a hemicelulose têm uma função estrutural enquanto a lignina é como um aglutinante das uniões estruturais celulares. No Quadro 1 pode-se observar uma comparação entre a composição química do bambu com a das madeiras coníferas e dicotiledôneas. Destaca-se a presença mais elevada de cinzas no bambu, o que indica alta percentagem de minerais. Isto poderia ser atribuído à forte epiderme do colmo e à presença de sílica no córtex. (MONTROYA E OROZCO, 2008)

Quadro 1- Composição química do bambu e madeiras coníferas e folhosas

	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Ceras	Cinzas
Coníferas	41~43	21~23	27~30	2~3	1,2~1,3
Folhosas	44~48	18~27	20~27	0,5 ~2,5	1,2~1,8
Bambu	41~59	19~23	20~26		1,1~4,2

FONTE: Montoya e Orozco (2008).

A subfamília *bambusoideae* está dividida em dois grupos: a dos bambus herbáceos, geralmente usados como ornamentais e conhecida como grupo *Olyreae* e a dos bambus lenhosos ou grupo *Bambuseae*, que geralmente possibilita uma maior variedade de usos.

Os bambus lenhosos americanos incluem aproximadamente 360 espécies. Os subgrupos de bambu endêmicos da América são: *Arthrostylidiinae*, *Chusqueinae* e *Guaduinae*; cujos bambus são geralmente de tamanho médio a grande. Dos países americanos, o Brasil apresenta a maior diversidade, com um total de 141 espécies de bambus lenhosos, seguido pela Colômbia com 72 espécies, a Venezuela com 60, o Equador com 44, a Costa Rica e o México com 39 espécies lenhosas. (LONDOÑO, 2005)

Aproximadamente 5% das espécies de bambus lenhosos pertencem ao gênero *Guadua*, que são consideradas as melhores espécies da América, devido ao seu grande porte, à possibilidade de usá-las na construção e por seu potencial industrial. (HIDALGO, 2003)

Dentro do gênero *Guadua* destaca-se o *Guadua Angustifolia*, endêmico da América do Sul. Seu nome foi dado por Karl Sigismund Kunth em 1822, tomado da palavra “*Guadua*” usada pelos indígenas da Colômbia e do Equador. (MINKE, 2010)

Essa espécie é muito importante na economia de países como a Colômbia e o Equador por seus múltiplos usos, destacando-se o uso na construção, posto que possui elevadas propriedades mecânicas e alta durabilidade dos colmos.

O *Guadua Angustifolia* faz parte da lista que contém uma seleção de bambus desenvolvida pela Rede Internacional de Bambu e Ratam (INBAR), tendo em vista os critérios de uso, cultivo, produtos e processamento, recursos genéticos e agro-ecologia; de espécies prioritárias de bambu para estudo e experimentação. Na seguinte página, o Quadro 2 mostra a adaptação desta lista ao português, publicada em Pereira e Beraldo (2008)

O bambu *Guadua Angustifolia Kunth* é o mais usado para a construção, é um bambu gigante (tem mais de 9m de altura) entouceirante que apresenta espinhos. Tem um diâmetro que varia entre 9 e 20cm, a espessura média da parede do colmo é 1,8cm.

É encontrado geralmente em climas tropicais úmidos, seu crescimento diário pode ser de 12 cm e aos três meses de idade pode atingir 80 ou 90% da sua altura definitiva, que pode ser entre 18-24m. (MINKE, 2010). Pode ser utilizado quando tem uma idade entre quatro e seis anos, que é a época na qual termina o processo de lignificação e apresenta as melhores características para sua aplicação na construção.

Quadro 2- Espécies prioritárias de bambu de acordo com INBAR

Espécie	Valor			Manejo	Clima e ecologia		Recursos Genéticos				
	C	RI	E		CI	SI	D	S	IV	T	F
<i>Bambusa bambos</i>	++	++	++	D	h,d,s	r,m,p	H	L	M	M	H
<i>B. blumeana</i>	++	++	++	D	h,d,s	r,m,p	H	L	H	H	H
<i>B. polymorpha</i>	+	+	-	D	h,d	r,m	H	H	M	H	H
<i>B. textilis</i>	+	++	+	D	st	r,m	M	L	H	H	L
<i>B. tulda</i>	+	++	+	D	h,d	r,m	H	M	H	H	H
<i>B. vulgaris</i>	-	-	++	D	h,d,s	r,m,p	L	L	L	L	L
<i>Cephalostachyum pergracile</i>	+	++	+	W	h,d	m	M	L	M	H	M
<i>Dendrocalamus asper</i>	++	+	++	D	h,d	r	H	H	M	H	H
<i>D. giganteus</i>	+	+	+	D	h	r	H	H	M	H	H
<i>D. latiflorus</i>	++	+	+	D	h	r	M	L	M	H	L
<i>D. strictus</i>	++	+	++	D	d,s	m,p	M	L	L	H	M
<i>Gigantochloa apus</i>	+	++	+	D	h	r	H	H	M	H	H
<i>G. Levis</i>	+	++	++	D	h	r	H	L	H	H	H
<i>G. pseudoarundinaria</i>	++	+	+	D	h,d	r	M	L	H	H	L
<i>Guadua angustifolia</i>	++	++	++	W	h	r,m	H	H	H	H	H
<i>Melocanna baccifera</i>	+	++	+	W	h	r	H	M	H	H	M
<i>Ochilandra</i>	+	+	+	W	h	r	H	H	M	H	H
<i>Phyllostachys Pubescens</i>	++	++	++	D	t	r,m	M	M	L	L	L
<i>Thyrsostachys siamensis</i>	++	++	++	D	d,(h)	w,(r)	M	M	L	H	L

Valor: C = Potencial para comercialização ++(alto); +(média) -(baixo)
RI = Indústria rural ++(alto); +(média) -(baixo)
E = Regenerador Ambiental ++(alto); +(média) -(baixo)

Manejo: D= Domesticado W= Selvagem

Clima e Ecologia:
CI= Clima: h (trópicos úmidos); d (trópicos secos); st (subtropical); s (semi-árido); t (temperado)
SI= Solos: r (rico); m (média); p (pobre)

Recursos genéticos:
D= desgaste genético
S= Necessidade de pesquisa sobre armazenamento de sementes
IV=Necessidade de pesquisa sobre reprodução in vitro
T= necessidade de maiores transferências
F= Necessidade de levantamentos futuros
H (alto) - M (média) - L (baixo)

FONTE: Pereira e Beraldo (2008).

2.1.2 Vantagens e desvantagens do uso do bambu como material de construção

Pesquisadores como Jorge Morán Ubidia² e Gernot Minke³ (2010) tem apontado as vantagens e desvantagens do bambu como material de construção, que estão listadas na continuação:

Vantagens:

- O bambu é um material de construção leve, que pode formar estruturas igualmente leves e flexíveis. Características importantes dos edifícios sismo-resistentes.
- A camada externa do córtex do bambu tem uma altíssima resistência à tração, que pode ser equiparada ao aço.
- Em países como Equador, 90% da construção seria realizada com insumos nacionais e só 5% com materiais importados (aço, arame, pregos, aditivos).
- As paredes projetadas com bambu teriam menor condutividade térmica, melhorando o conforto no interior da habitação.
- Construções com bambu consomem menor quantidade de materiais cuja produção representa altos índices de energia como o concreto e aço.
- O bambu é um produto vegetal endêmico da América do Sul, e de grande importância ambiental porque seu cultivo ajuda na recuperação de terras degradadas, regula caudais hídricos, produz oxigênio e seqüestra CO₂. Segundo Riaño et al. (2002, p.49) o *Guadua Angustifolia Kunth* capta nos primeiros seis anos de crescimento 54 toneladas de CO₂ por hectare (9 ton/ha /ano).
- O *Guadua* é um material que pode ser industrializado, substituindo com êxito as madeiras na construção, posto que o desmatamento contínuo tem encarecido esse material.
- O tempo de espera desde o plantio até o aproveitamento do bambu *Guadua* é de 5 anos, e não precisa ser plantado novamente.

² Professor da Universidade Católica de Guayaquil- Equador e consultor de INBAR. Informação tomada de texto fornecido pelo Arquiteto. Tradução livre realizada pela autora.

³ Professor aposentado da Universidade de Kassel- Alemanha. Diretor do Instituto de Pesquisa de Construções Experimentais desde 1974.

- O cultivo e manejo de *Guadua* geram fontes de emprego permanentes no campo e permite construir também edificações comunitárias a baixo custo.
- O desperdício de materiais é reduzido em comparação com a construção convencional.
- A tecnologia de construção com bambu existe e tem se desenvolvido intensivamente em países como a Colômbia, a Costa Rica o Brasil e o Equador.
- O custo de uma construção com bambu é 30 a 40% menor do que uma realizada com materiais convencionais.
- Os estudos de resistência, preservação e secagem de *Guadua* para prolongar sua durabilidade estão respaldados por universidades europeias e latino-americanas.
- A mão de obra para as construções com *Guadua* não precisa ser especializada, sendo necessário apenas um rápido treinamento. Só 15% da mão de obra precisa ser especializada: pedreiro, carpinteiro, etc.
- Não se utiliza equipamentos especiais de construção, como betoneiras.
- Os custos de corte e transporte do bambu são relativamente baixos.

As desvantagens são:

- O comportamento estrutural do bambu pode variar muito dependendo da espécie, o lugar de plantio, a idade, o teor de umidade, e a parte do colmo utilizada.
- A vulnerabilidade do material à exposição aos raios ultravioletas e à água, precisando de proteção durante todo o processo de manejo, execução e manutenção do projeto.
- Sensibilidade do bambu ao ataque de fungos e insetos. Precisando de tratamento contra eles.
- A seção circular do colmo e facilidade com que pode rachar-se dificulta a execução de uniões, porque, ao contrário da madeira não possui fibras transversais, logo possui pouca resistência a esforços perpendiculares ao eixo longitudinal.
- O preconceito que existe do material, com a idéia de ser “símbolo da pobreza”, ou seja, morar numa casa de bambu é sinal de pobreza, marginalidade e violência.

- Pelo desconhecimento generalizado das técnicas de construção e tratamento preservativo do bambu, o material não é valorizado por engenheiros e arquitetos.
- Sensibilidade do bambu ao fogo e falta de pesquisas específicas nesta área.
- O cálculo de estruturas e a obtenção de autorizações para a construção com bambu são difíceis de obter por não existirem normas oficiais.

A lista de vantagens e desvantagens pode variar dependendo do lugar no qual a construção com bambu seja projetada. É importante levá-las em conta como insumo para o desenvolvimento de propostas construtivas, permitindo uma melhor aplicação do material.

2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DO GUADUA ANGUSTIFOLIA

O bambu é um material que provém da natureza, isto quer dizer que cada colmo de bambu será sempre diferente do outro, mesmo se forem da mesma touceira. As condições ambientais e do solo no qual cresce o bambuzal influenciam diretamente nas características de cada colmo.

Para a aplicação do *Guadua* na construção, é preciso conhecer as propriedades físicas e mecânicas do material. A avaliação dessas características deve realizar-se por meio de ensaios em laboratório. Contudo, no Brasil assim como na maioria de países não existe uma norma que especifique todos os procedimentos necessários para a realização de ensaios com o material ou suas aplicações. Frente a essa situação em alguns casos adapta-se a normativa de madeiras para a realização dos ensaios com bambu.

Em outros casos, pesquisadores baseiam seus estudos nas normativas existentes no tema de uso de bambu na construção: proposta mundial do INBAR em 2000 “*INBAR standard for determination of physical and mechanical properties of bamboo*”; normas ISO N 313 “*Bamboo Structural Design*”, ISO 314 “*Physical and Mechanical Properties*”, ISO 315 “*Testing Material*”; na Colômbia o “*Reglamento Colombiano de la Construcción Sismorresistente NSR-10*”; na Índia o “*National Building Code of India*” part 6, chapter 3B correspondente ao

bambu; na Califórnia o “*Acceptance critérios for Structural Bamboo*” AC 162.

Várias dessas normas regulam métodos de ensaio tanto para tiras quanto para colmos inteiros, outras indicam critérios para projetar edificações com bambu.

A continuação apresenta-se dados correspondentes às propriedades físicas e mecânicas do *Guadua Angustifolia* obtidos em algumas dessas pesquisas.

2.2.1 Umidade

Os colmos imaturos têm maior teor de umidade do que os maduros, os bambus recém cortados podem atingir um teor de umidade de até 120%, que varia ao longo do colmo, sendo maior na parte inferior. O ponto de saturação das fibras está entre 13 e 20%. (HIDALGO, 2003)

2.2.2 Densidade aparente

É definida pela razão entre massa e volume do material (m/V). Varia dependendo do teor de umidade e da parte do colmo que foi extraída a amostra, sendo maior nas camadas externas e nas partes com maior teor de umidade.

Tendo em conta isto, Gonzalez, Hellwig e Montoya (2008) indicam que a densidade aparente do *Guadua Angustifolia* pode variar entre 0,548 g/cm³ e 0,7 g/cm³.

2.2.3 Resistência à tração paralela

Ghavami (2004) indica uma resistência média do colmo de bambu submetido à tração de 86,96 MPa, descrevendo que a máxima resistência se registra na parte central dos colmos e que nas regiões que possuem nós o valor diminui pela descontinuidade das fibras nesses pontos; o módulo de elasticidade longitudinal às fibras tem um valor médio de 15,11 GPa.

2.2.4 Resistência ao cisalhamento

O valor médio de resistência ao cisalhamento obtido por Ghavami (2004) foi de 2,017 MPa, sendo maiores os valores obtidos nos corpos de prova com nó.

É importante ter em conta esta propriedade do material, sobretudo no momento de executar uniões entre as diferentes peças que compõem uma estrutura, é o caso das uniões parafusadas.

2.2.5 Resistência à compressão paralela

Hidalgo (2003) indica que a resistência do *Guadua* varia dependendo da idade do colmo, atingindo o valor máximo de 70 MPa nos colmos com 5 anos e o valor mínimo de 26 MPa nos colmos de um ano. Depois dos 6 anos o bambu começa a envelhecer e perder sua resistência.

Um estudo desenvolvido por Ghavami (2004) determinou um valor médio de resistência a compressão paralela de 29,8 MPa; indicando que aumenta em direção à parte superior do colmo. Indica um valor médio do módulo de elasticidade de 12,58 GPa.

Um estudo desenvolvido por Ghavami (2004) determinou um valor médio de resistência a compressão paralela de 29,8 MPa; indicando que aumenta em direção à parte superior do colmo. Indica um valor médio do módulo de elasticidade de 12,58 GPa.

2.2.6 Resistência à flexão

Caeiro (2010) indica que em provas que ele realizou, chegou a aplicar cargas de entre 18 e 20 toneladas num colmo de *Guadua Angustifolia*, conseguindo só fletir o colmo antes da ruptura.



Figura 6 – Ensaio de colmo de *Guadua* submetido à flexão
Fonte: Caeiro (2010)

2.3 MÉTODOS DE PRESERVAÇÃO DO BAMBU

Como material orgânico, o bambu é sujeito a sofrer degradação, ocasionada por vários fatores. Isto pode causar uma diminuição da durabilidade do material quando é aplicado na construção.

Durabilidade é a capacidade de resistir às alterações em sua estrutura ao longo do tempo, como mudança de cor, deformações, aumento ou redução de dimensões, rachaduras e degradação. (KLEINE, 2010)

No Quadro 3 observa-se como dependendo de algumas condições do ambiente, a durabilidade do bambu pode ser afetada por diferentes fatores, sendo estes: sol, chuva, fungos, insetos e também vários microorganismos, os últimos apresentam-se com maior frequência quando o bambu ainda é parte do bambuzal.

Quadro 3- Fatores que afetam a durabilidade do bambu

Meio ambiente	Sol e chuva	Fungos	Insetos	Microorg.
Solo				X
Água				X
Ar úmido s. cobertura	X	X	X	
Ar seco s. cobertura	X		X	
Ar úmido c. cobertura		X	X	
Ar seco c. cobertura			X	

FONTE: Kleine (2010).

A incidência dos raios ultravioleta altera a coloração do córtex do colmo e altera a lignina; geralmente ocasionando que o bambu fique com uma cor cinza; também pode ocasionar rachaduras, reduzindo as propriedades mecânicas do material. A umidade ocasiona posteriormente mofo, podridão e biodeterioração.

A maioria dos fungos apodrecedores precisam de uma umidade no bambu maior do que o ponto de saturação das fibras para se desenvolver, além da temperatura, presença do ar e pouca ventilação:

- Os fungos brancos e pardos produzem mudanças progressivas nas propriedades químicas dos componentes de bambu (carboidratos e lignina).
- Os fungos ou podridão parda reduzem progressivamente o peso dos colmos, e diminui a celulose.

- O mofo pode rapidamente infectar e se propagar entre vários colmos. Embora não possa destruir o bambu, afeta a sua dureza e provoca a diminuição do valor dos colmos de bambu e produtos derivados. (HIDALGO, 2003)

O bambu é mais comumente atacado por besouros ou brocas e cupins de terra; atacam geralmente a parte interna do bambu por possuir menor densidade e maior concentração de amido. As tiras e placas de bambu são menos resistentes do que os colmos inteiros, que contam ainda com a proteção do córtex.

Dentre os tipos de cupins, os cupins de terra são os que mais atacam o bambu. A Figura 7 apresenta o dano ocasionado por estes insetos, atacando de preferência a parte interna do colmo que é a que menor densidade apresenta. Também existem vários tipos de besouros ou brocas que atacam o bambu, na América o maior dano no bambu é produzido pelo *Dinoderus minutus*, reduzindo a vida útil do bambu.



Figura 7 – Colmos de bambu atacados por cupins de terra
Fonte: <http://www.guaduabamboo.com> (2010)

2.3.1 Prevenção

A durabilidade natural do bambu como material de construção pode aumentar seguindo vários procedimentos a serem desenvolvidos nas várias etapas da planta e do material: plantio, corte, secagem, tratamento, aplicação e manutenção.

No bambuzal é preciso selecionar os colmos que não apresentem deformações, furos nem doenças, manifestadas muitas vezes por descoloração. Cortar só os bambus que tenham a idade apropriada para usá-los na construção: de quatro a seis anos, posto que depois deste

tempo começa o processo de secagem do colmo diminuindo as propriedades mecânicas.

Depois do corte, é preciso deixar o colmo inteiro apoiado sobre a mesma base e sobre os outros bambus, para o processo de “avinagrado”, que é um processo natural do bambu no qual se evapora o líquido com conteúdo de amido e açúcar, os quais se descompõem e fermentam, transformando-se em álcool, com gosto amargo para os insetos. Este processo dura no mínimo 4 semanas. Montoya (2008) depois das suas pesquisas observou uma resistência natural maior nos bambus que passaram por esse processo.

Secagem

Existem processos de secagem natural (passivos) e artificial do bambu, sendo as principais diferenças o tempo e os cuidados do bambu para cada um deles. Para otimizar o procedimento é preciso secar o bambu ao abrigo, impedindo o contato dos colmos com o chão para evitar danos ocasionados pela umidade e os raios solares. Geralmente este processo toma de dois a três meses.

Limpeza da superfície dos colmos

Para limpar a superfície dos colmos de bambu, usa-se frequentemente palha de aço, este método pode enfraquecer o córtex dos colmos. É mais efetivo, barato e saudável lavá-los com água a pressão.

2.3.2 Tratamento com produtos químicos

Existem vários tratamentos com químicos usados para preservar o bambu do ataque dos insetos. Muitos são adaptações dos tratamentos aplicados nas madeiras. Estes métodos estão em processo contínuo de melhoramento, adequação e avaliação.

Método de Boucherie Modificado: A modificação deste método em relação ao usado na preservação de madeira é que este atua por pressão, sendo acionado por uma bomba; utiliza o princípio de substituição de seiva, bombeando uma solução desde a base do colmo que é deitado inclinado com a parte de menor diâmetro para abaixo para ajudar a difusão por gravidade do líquido. As soluções que se aplicam com maior frequência são:

- Ácido bórico, bórax, água.
- Ácido bórico, bórax, sulfato de cobre, água.
- Ácido bórico, bórax, sal grosso, água.

Método de Imersão: Consiste em submergir os colmos dentro de um tanque com a solução preservativa. Para formar o tanque, pode-se também escavar no chão um buraco e cobri-lo com plástico para colocar a solução. As soluções mais usadas são:

- Ácido bórico, bórax, água.
- Ácido bórico, bórax, sulfato de cobre, água.
- Ácido bórico, bórax, sal grosso, água.
- Cloruro de zinco.
- Ácido pirolenhoso. Esta metodologia está sendo desenvolvida no Brasil pela empresa Oré Brasil para preservar o bambu que posteriormente é usado para a fabricação de móveis. É uma alternativa ecológica posto que o ácido pirolenhoso é um produto natural que provém da queima do bambu para a fabricação do carvão que neste caso está sendo reaproveitado para preservação.

Método de Injeção: Consiste em perfurar os internós e injetar em cada um entre 10 e 20 ml da solução depois é preciso mexer o colmo inteiro para espalhar a solução e posteriormente selar cada furo. Usa-se geralmente:

- Octaborato, água.
- Octaborato, piretróide, DDVP
- Octaborato, DDVP, cipermetrina

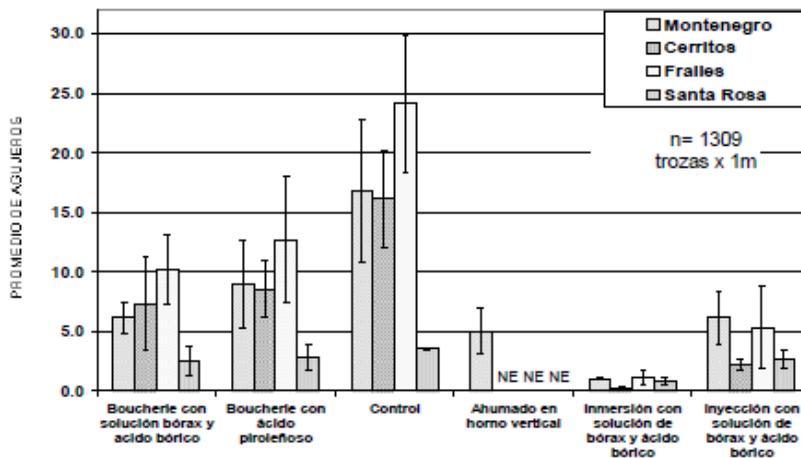
Método de defumação: Na defumação usam-se galhos e folhas de árvores, cascas ou resíduos de bambu. Um dos produtos deste processo é o ácido pirolenhoso.

Método de autoclave: Para a autoclave usa-se o mesmo procedimento do que com as madeiras, sendo preciso fazer adequações. Geralmente neste método usa-se Arseniato de Cobre Cromatado (CCA).

2.3.3 Um estudo comparativo

Na *Universidad Tecnológica de Pereira*, pesquisadores elaboraram estudos comparativos de alguns métodos de preservação, obtendo os resultados resumidos no Gráfico 1.

Gráfico 2 – Média de furos encontrados em colmos preservados de *Guadua*



Fonte: Montoya (2008).

Os métodos de preservação avaliados foram:

- Imersão com solução de ácido bórico e bórax.
- Injeção com solução de ácido bórico e bórax.
- Boucherie modificado com solução de ácido bórico e bórax.
- Boucherie modificado com ácido pirolenhoso.
- Defumação (em forno vertical e horizontal).

Na pesquisa, os diferentes métodos foram aplicados em bambus de várias regiões da Colômbia e passaram pelo mesmo processo de corte e secagem. Deixou-se um bambu de cada região sem tratamento para obter um controle do processo, e para verificação dos resultados.

Nas conclusões do trabalho mencionam o método da imersão na solução de ácido bórico como a mais efetiva, recomendam o uso da injeção como método corretivo quando o bambu já tenha apresentado ataques de insetos; não recomendam o uso de ácido pirolenhoso por

apresentar o efeito contrario ao esperado, mas fazem recomendações para fazer mais provas que possam validar ou rebater os resultados.

2.4 APROXIMAÇÃO HISTÓRICA DO USO DO GUADUA NA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÃO

Os vestígios da habitação mais antiga construída com bambu na América foram achados nos resquícios da cultura Valdivia no Equador há 5000 anos, na qual as paredes estavam cobertas com barro misturado com palha. (HOLM 1985 apud HIDALGO 2003)

Os registros dos cronistas da época da colonização espanhola nas Américas indicam a abundância do bambu *Guadua* na região, existem vestígios de culturas anteriores à colonização que desenvolveram tecnologias construtivas de pontes e habitações com esse material.

Até mesmo algumas civilizações como a Inca e a Chimú assentadas principalmente no Peru, onde não existem espécies gigantes de bambu, desenvolveram tecnologias de construção com esse recurso, importando-o por via marinha da região do Golfo de Guayaquil. Por este motivo no Peru esse tipo de bambu é conhecido até hoje como “cana de Guayaquil”. (HIDALGO, 2003)

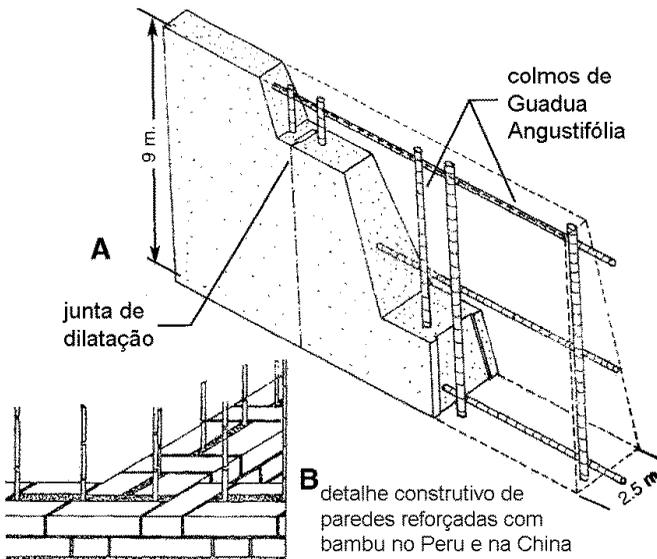


Figura 8 – Detalhe de paredes construídas em Chan Chan
Fonte: Hidalgo (2003). Tradução realizada pela autora.

Na Figura 8 mostra-se um detalhe construtivo de uma parede de adobe reforçada com bambu *Guadua*, construída por nativos da cultura Chimú (850- 1425 D.C), na cidade pré-colombiana de Chan Chan, localizada no deserto ao noroeste do Peru.

O bambu *Guadua* foi utilizado neste caso para amarrar as seções das paredes separadas pelas juntas de dilatação e proporcionar-lhes estabilidade durante os terremotos. Hidalgo (2003) menciona que esse mesmo método de reforço do adobe com bambus gigantes era usado também na China em construções pequenas.

O período da colônia espanhola significou a perda de muitos conhecimentos ancestrais das múltiplas aplicações do *Guadua*, mas no que se refere à construção, progressivamente surgiram inovações relacionadas à fusão e evolução das técnicas.

É assim que as paredes que inicialmente eram construídas com bambu e rebocadas com barro, técnica conhecida na região como *bahareque*⁴, posteriormente mudaram a argamassa para uma mistura de esterco de cavalo em pó misturado com areia coberta com uma segunda camada de cal e areia e, finalmente, foi substituída por cimento e areia.

A palha das coberturas foi gradualmente substituída pelas telhas, demandando a modificação das estruturas para sua sustentação.

A combinação da madeira e o bambu nas construções gerou uma nova tipologia construtiva que permitiu levantar edifícios de até 6 andares, nos quais a madeira era utilizada para as vigas e o bambu para colunas e diagonais.

A Figura 9 na seguinte página mostra um corte dessa tipologia estrutural, característica em algumas cidades da Colômbia, como Manizales.

A região do Departamento de Caldas, na Colômbia está localizada na *Cordillera de Los Andes*; por isso as casas e sobrados muitas vezes eram construídas em ladeiras, sendo preciso adaptar as habitações às pendentes.

Nesse contexto, a solução adotada pelas famílias de menor renda foi construir suas casas sempre no mesmo nível das ruas, sem modificar os terrenos e aproveitando o baixo custo do bambu para levantar esbeltas estruturas que sustentavam as construções, algumas de até 15m de altura. (Figura 10)

⁴ No Brasil taipa de mão, taipa ou pau-a-pique.

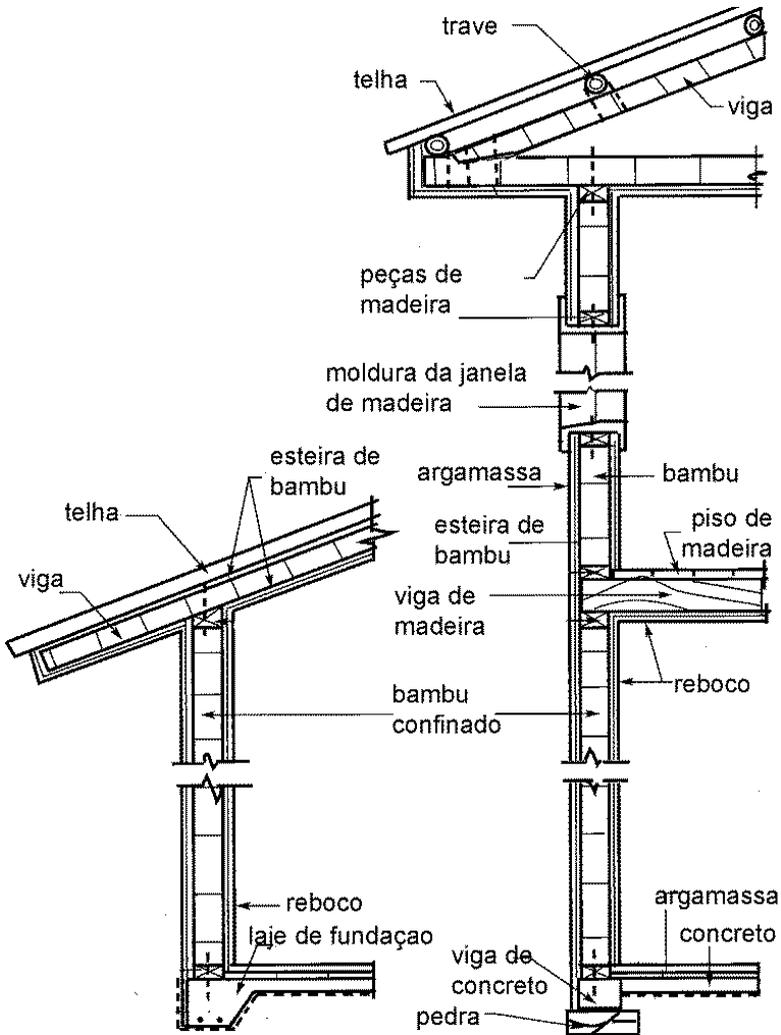


Figura 9 – Corte de casa típica construída com *Guadua* em Manizales.
 Fonte: Hidalgo (2003). Tradução realizada pela autora.

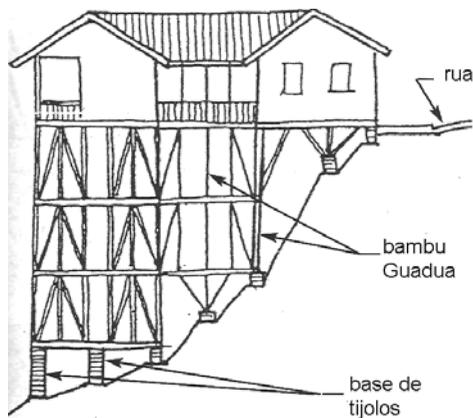


Figura 10 – Casa construída com *Guadua* em Caldas
 Fonte: Hidalgo (2003). Tradução realizada pela autora.

Quanto às diferentes técnicas usadas nas paredes das casas, Gutiérrez (2000) e Salas (2006) mencionam dois tipos de *bahareque*: maciço e oco. O maciço era aquele no qual se introduzia e apiloava o barro no meio das tiras de bambu; no *bahareque* oco só era rebocado o exterior das paredes, seja com alguma argamassa ou colocado um revestimento metálico ou de tábuas de madeira. (Figura 11)

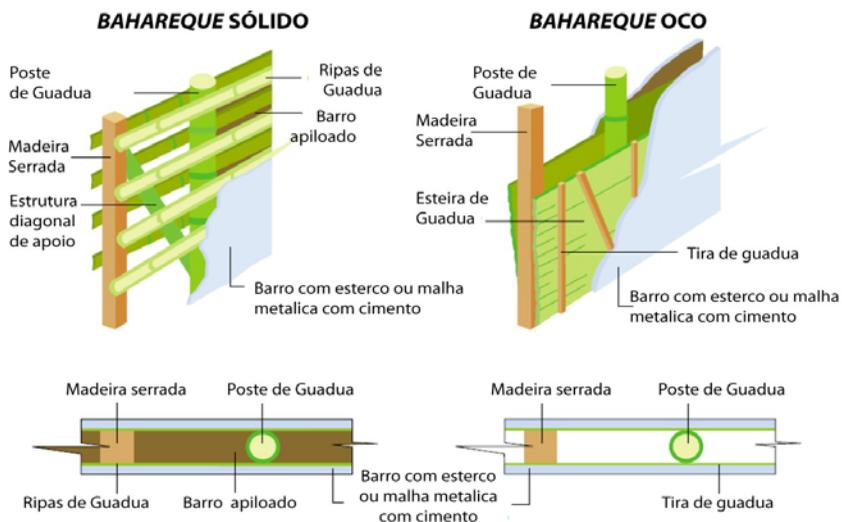


Figura 11 – Tipos de *bahareque*
 Fonte: Robledo (1996). Tradução realizada pela autora.

No entanto, de acordo com Gutiérrez (2000), o uso do bambu na região não era uma prioridade para a população, este só era utilizado quando a madeira não estava disponível e para reduzir custos. Por esses motivos também era um material de construção comum para os setores de menor renda da população.

As construções de *bahareque* só ganharam popularidade quando a população percebeu que resistiam melhor aos abalos sísmicos do que aquelas feitas em taipa pisada, que até então tinha sido a tecnologia com maior aceitação e proporcionava um caráter de permanência, enquanto o *bahareque* era tomado como algo provisório.

É assim que, por seu bom desempenho durante os sismos, o *bahareque* começou a ganhar espaço em todo tipo de construções públicas e privadas, seja exclusivamente ou em combinação com a taipa. Na Figura 12 se mostra uma casa construída na Colômbia aplicando aquela técnica nos dois andares superiores e taipa no térreo.



Figura 12 – Casa construída com *bahareque* e taipa
Fonte: Salas (2006)

No entanto, a aplicação do bambu nas construções desde essa época já era estigmatizada. Hidalgo (2003) menciona a Colômbia como o único país do mundo no qual se desenvolveu a técnica de rebocar as esteiras de bambu e foi popularizada porque culturalmente as pessoas não gostavam de ver o bambu exposto. Salas (2006) menciona que o

preconceito com o material era tão acentuado que em lugar de reboco usava-se para cobri-lo madeira ou imitações de concreto e pedra.

É assim que na Colômbia, até agora, a população prefere se possível cobrir o bambu *Guadua* nas paredes, e somente nas casas dos mais pobres fica à vista por falta de recursos, esse último caso é mais evidente nas áreas urbano-marginais das grandes cidades. Nesses lugares vivem geralmente migrantes que chegaram do campo à procura de novas oportunidades, assentando-se à margem da cidade, originando as favelas que crescem mais rapidamente do que a “cidade formal”.

Naquelas favelas da região da Cultura do *Guadua*, assentadas em áreas de risco por deslizamentos ou inundadas com água poluída, o material de construção mais comum pelo baixo custo continua a ser o bambu. Autores como Gutierrez (2000) citam a cidade de Guayaquil, como o lugar dentro da região, cujas favelas têm as piores condições de habitabilidade. (Figura 13)



Figura 13 – Assentamentos informais em Guayaquil
Fonte: Ignacio Peña Ruiz

Frente à dramática situação das pessoas que moram nessas condições, a corporação *Hogar de Cristo*, fundada há trinta anos em Guayaquil por padres jesuítas, produz habitações de baixo custo visando satisfazer a mais básica necessidade de abrigo.

2.4.1 O caso de Hogar de Cristo no Equador

Para o presente estudo, considerando a oportunidade de acesso ao local, será apresentado a seguir, o programa habitacional da corporação *Hogar de Cristo*, cuja sede principal no Equador está na cidade de Guayaquil. É um dos casos mais reconhecidos no mundo inteiro de uso do bambu para a construção da habitação de baixo custo.

Todas as informações aqui descritas foram obtidas de uma visita realizada no mês de fevereiro de 2011 à fábrica de *Hogar de Cristo* na cidade de Guayaquil.

É preciso evidenciar que a proposta habitacional desta ONG, baseada na utilização de bambu *Guadua*, é uma proposta de habitação de emergência, ou seja, uma casa temporária cujos usuários alvo, são famílias do setor mais pobre da população, que podem pagar mensalmente até 10 dólares americanos, ou seja, equivalente a 16 reais.

A grande demanda existente para esta tipologia de habitação faz com que, nesta instituição, sejam produzidas diariamente por meio da industrialização do processo, cerca de 36 casas por dia, só na cidade de Guayaquil, dando uma produção mensal de 756 casas, para as quais são empregadas 27600 colmos de bambu *Guadua* de 6m de comprimento, cada.

O *Guadua* para estas casas é utilizado só nos painéis de vedação vertical. Para isto as paredes espessas dos colmos desse bambu, são abertas em réguas, facilitando o seu transporte. Já em réguas é que são enviadas à fábrica de casas de *Hogar de Cristo*. Na Figura 14 observa-se o caminhão de um fornecedor, descarregando o bambu em réguas. Observa-se também a forma de armazenamento no galpão da fábrica das casas.



Figura 14 – Descarga do bambu na fábrica de *Hogar de Cristo*

Estas réguas depois são fixadas numa estrutura de madeira com grampos, constituindo desta maneira o painel. Existem quatro tipos diferentes de painéis, que são montados em moldes de aço conforme apresentado na Figura 15.



Figura 15 – Construção de painéis de bambu na fábrica de *Hogar de Cristo*

Cada casa compreende um único espaço de 23m². É construída com oito painéis de bambu *Guadua* e madeira, nas paredes. Para o chão, são usadas tabuas de madeira. A cobertura é de zinco e a base de sustentação do piso é de madeira de Teca.

Na produção dos painéis, as régua de bambu são colocadas na vertical para facilitar o escoamento da água de chuva, posto que a casa não possui um acabamento final e o bambu fica exposto. (Figura 16)



Figura 16 – Casas de *Hogar de Cristo* em Guayaquil
Fonte: Ignacio Peña Ruiz

Considerando a necessidade de reduzir custos, o bambu *Guadua* e as madeiras usadas para a produção destas casas, não recebem

tratamento prévio. Como consequência, a durabilidade destas habitações é mínima, variando entre dois e quatro anos.

O custo de uma destas casas é de 953 dólares americanos, aproximadamente 1525 reais, e os requisitos para obtê-la, são:

- Possuir um terreno próprio ou de algum familiar.
- Cópia da identidade do solicitante e do cônjuge.
- Certidão de nascimento dos filhos menores de idade.
- Uma conta de luz, água ou telefone, em caso de possuir estes serviços.
- Cópia da identidade do dono do terreno.
- Um avalista, que deve ter pelo menos 23 anos e saber ler e escrever.

Reunindo esses requisitos uma pessoa pode obter uma casa em uma semana, dependendo da programação das visitas dos técnicos aos bairros.

Este programa habitacional tem recebido críticas sobre aspectos ambientais e sociais, mas ainda não existe uma proposta alternativa que possa contemplar estas questões e também satisfazer à demanda econômica do setor da população que esta ONG atende.

Atualmente, na tentativa de melhor atender às críticas mencionadas, a corporação *Hogar de Cristo* oferece mais opções de casas, que incluem outros materiais, além de estarem trabalhando para os próximos anos na proposta de uma habitação progressiva, ou seja, que permite ampliação. Porém a casa de madeira e *Guadua*, aqui descrita, continua sendo a mais solicitada pela população.

O desafio é encontrar maneiras de chegar a uma proposta de HIS definitiva para esse setor desfavorecido da população. Nessa proposta o *Guadua Angustifolia* deveria ser melhor aproveitado, considerando-se o conhecimento das características desse material.

2.5 AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO E SUA IMPORTÂNCIA PARA A MELHORIA TECNOLÓGICA

A Avaliação Pós- Ocupação (APO) refere-se a uma série de métodos e técnicas que diagnosticam fatores positivos e negativos do ambiente no decorrer do uso. (ROMERO; ORNSTEIN, 2003). Esse diagnóstico permite realimentar os processos construtivos, mantendo os

pontos positivos encontrados e modificando os negativos, com vistas à melhoria das propostas construtivas.

É uma metodologia que tem grande importância dentro da avaliação da habitação de interesse social, aplicada num cenário onde geralmente as soluções habitacionais são repetitivas ou apresentadas em larga escala. A APO considera também fundamental o nível de satisfação dos usuários além da importância do desempenho físico das edificações.

Considerando sua conceituação básica, a aplicação de métodos e técnicas de APO deve levar sempre em consideração o ponto de vista dos técnicos, bem como a aferição dos níveis de satisfação dos usuários. (ROMERO; ORNSTEIN, 2003)

A opinião do usuário colhida no processo da APO, é um dos maiores aportes dessa avaliação, posto que permite testar a aplicação e funcionamento real das edificações. Torna-se uma contribuição para seu melhoramento, mas também, constitui um aporte fundamental para o desenvolvimento de futuros projetos.

Os resultados da avaliação são discutidos também com os construtores, permitindo-lhes visualizar a maneira de aperfeiçoar futuras propostas construtivas que melhorem a qualidade de vida dos usuários.

Dependendo dos objetivos iniciais da avaliação, existem vários aspectos a serem analisados e que demonstram maior ou menor importância em cada estudo.

Segundo Preiser (2001) existem três tipos, ou níveis, de APO:

- 1) Avaliações de pós-ocupação indicativas: oferecem um indicador dos pontos fortes, assim como, dos pontos fracos de um edifício em particular, quanto ao seu desempenho. Em geral, consistem em entrevistas seletivas com informantes que detém conhecimento sobre o edifício, mas também, por visitas e inspeções da edificação objeto dessa avaliação. A consequência mais comum é a conscientização de problemas cruciais relacionados ao desempenho da edificação.
- 2) Avaliações de pós-ocupação investigativas: são um pouco mais profundas e baseiam-se em critérios de avaliação objetivos, explicitamente estabelecidos no próprio programa arquitetônico

da edificação, ou colhidas de normas e padrões de desempenho, encontrados na literatura, publicada acerca de uma determinada tipologia de edificação. A consequência desse tipo de avaliação é uma compreensão integral das causas e dos efeitos relacionados aos mais importantes problemas ligados ao desempenho da edificação.

- 3) As avaliações de pós-ocupação diagnósticas: relacionam medidas ambientais e físicas, com medidas obtidas das respostas subjetivas dos ocupantes. A consequência desses estudos é em geral, a criação de um novo conhecimento acerca de aspectos do desempenho da edificação.

Para o estudo de caso de este trabalho desenvolveu-se uma APO indicativa, com o objetivo de identificar os principais problemas relacionados com a aplicação do bambu nas habitações analisadas.

Na mesma publicação, Preiser menciona também as três fases gerais do processo de APO, que são: planejamento, condução ou execução da avaliação e aplicação dos resultados.

Para o desenvolvimento da APO aplicada no estudo de caso deste trabalho, a metodologia usada foi adaptada da parte do livro de Romero e Ornstein (2003) que corresponde à avaliação do sistema construtivo e abrange várias áreas na análise como aspectos técnicos, construtivos e de segurança.

A versatilidade da APO permitiu adequá-la ao estudo de caso que esteve focado nas questões técnico-construtivas e sociais.

2.6 SISTEMA CONSTRUTIVO E DESEMPENHO

O sistema construtivo é um conjunto de elementos e técnicas ordenadas racionalmente com a finalidade de projetar um edifício e o processo construtivo define o modo de construí-lo, tanto na etapa de projeto quanto na execução.

O processo construtivo considera aspectos econômicos, sociais, ambientais, tecnológicos e humanos para determinar a forma de execução e tecnologia a ser aplicada no sistema construtivo.

Esse trabalho tem como objetivo propor uma melhoria no sistema construtivo de HIS projetada com bambu *Guadua*, a partir de um estudo

de caso no Equador, cujo processo construtivo específico responde a determinada situação sócio-econômica do usuário. Uma forma de orientar essa melhoria é otimizando o desempenho da edificação.

Devido à falta de normas para medir o desempenho de uma edificação no Equador, como mecanismo de verificação das melhorias propostas no sistema construtivo para este trabalho, se utilizou a Norma Brasileira de desempenho para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos NBR 15575:2008.

2.6.1 Desempenho

Segundo a NBR 15575 (2008), o desempenho é o comportamento em uso de um produto frente a determinadas condições de exposição. O foco principal da norma está nas exigências dos usuários para analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica.

Aquela norma indica que existem requisitos e critérios de desempenho; os requisitos são condições qualitativas que procuram a satisfação das exigências dos usuários durante a vida útil do projeto, os critérios são as especificações e procedimentos que visam representar tecnicamente as exigências dos usuários. Essas exigências estão divididas em três grupos:

Exigências de Segurança:

- Segurança estrutural
- Segurança contra o fogo
- Segurança no uso e na operação

Exigências de Habitabilidade

- Estanqueidade
- Desempenho térmico
- Desempenho acústico e de segurança
- Desempenho lumínico
- Saúde, higiene e qualidade do ar
- Funcionalidade e habitabilidade
- Conforto tátil e antopodinâmico

Exigências de Sustentabilidade

- Durabilidade e manutibilidade
- Adequação ambiental

2.6.1 Desempenho estrutural para construções com bambu

A NBR não possui um capítulo para estruturas de bambu e indica que na ausência de normas prescritivas para sistemas, podem ser usadas normas internacionais relativas ao tema.

Para o tema específico do desempenho estrutural, neste trabalho são considerados os requisitos de construção com bambu *Guadua Angustifolia Kunth* presente no título G-12 do Regulamento Colombiano da Construção Sismo-resistente NSR-10:

O material: Para a aplicação estrutural do bambu, os colmos devem estar secos e previamente tratados para prevenção de ataque de fungos ou insetos; não devem ter furos nem apresentar sinais de apodrecimento.

Num sistema construtivo projetado com bambu a principal preocupação é maximizar sua durabilidade e otimizar sua aplicação. Com esse fim, o bambu utilizado na construção deve passar pelo processo indicado no Gráfico 2:

Gráfico 2 - Processo do *Guadua* para sua aplicação na construção



Corte e cura no bambuzal: a norma colombiana recomenda que a *Guadua* para ser usada com fins estruturais deve ter entre 4 e 6 anos. Se bem que, esta parte do processo é a mais difícil de ser verificada por ser de exclusiva responsabilidade dos produtores, existe um método visual de verificação da idade dos colmos de *Guadua*. A Figura 17 mostra as principais diferenças entre um colmo jovem (esquerda), um colmo maduro (meio) e um colmo velho (direita).



Figura 17- Diferença entre colmos de *Guadua* jovem, madura e velha
Fonte: Poppens e Morán (2005)

Um colmo verde de bambu, que tem de 1 a 3 anos, apresenta uma cor verde intensa; os colmos maduros, de 4 a 6 anos, são de cor verde opaca com manchas de líquens brancos; os colmos velhos, com mais de 6 anos, apresentam também os líquens mas são mais amarelados.

Secagem: o bambu que será utilizado com fins estruturais precisa ter o teor de umidade o mais próximo à umidade de equilíbrio dependendo da umidade relativa do ambiente da região na qual será instalada. Essa umidade do bambu tem que ser inferior a 19%. (NSR 10). Seco de forma natural, o bambu pode atingir uma umidade entre 12 e 16%. (Poppens e Morán, 2005). O processo demora no mínimo dois meses e varia dependendo da região.

O procedimento de secagem natural do bambu é o mais econômico, pode ser realizado de duas maneiras: a primeira e mais tradicional e se realiza com os colmos colocados em posição vertical sobre um cavalete, deve-se evitar o contato direto das bases dos colmos com o chão. (Figura 18)



Figura 18 - Secagem natural do bambu
Fonte: Poppens e Morán (2005)

Para conseguir uniformidade na secagem das peças é preciso girá-las frequentemente; a segunda é secar os colmos horizontalmente, empilhados e cuidando que os colmos não ganhem curvaturas durante o processo.

Preservação: A situação ideal para a construção com bambu seria poder adquirir as peças de bambu já tratado e com garantias do fornecedor. Atualmente ainda não existem essas condições; por essa razão, a melhor opção para garantir uma adequada preservação do material é realizar o tratamento como parte do processo construtivo.

Pela economia e efetividade do processo, propõe-se manter o método por imersão, usando bórax e ácido bórico. No entanto, é possível melhorar a impregnação do tratamento no bambu, para isto Pinzón (2006) recomenda manter entre 6% e 9% a concentração de sais de boro nos tanques de preservação para melhorar a retenção deles nas peças de *Guadua*.

Isto é que para cada 100 l de água devem ser usados 4 kg de ácido bórico e 2 kg de bórax, ou 6:3 respectivamente. Também indica que o tempo de imersão entre 4 – 5 dias.

A norma colombiana indica que o diâmetro da perfuração realizada nos diafragmas dos colmos de bambu para submetê-los nesse tratamento, não deve ser maior de 130 mm.

União: O colmo de bambu roliço pode ser cortado de três maneiras para sua posterior união com outros elementos estruturais: reto, boca-de-peixe e bico-de-flauta (Figura 19). O corte de bambu deve ser realizado de modo que cada peça estrutural comece e acabe com um nó.

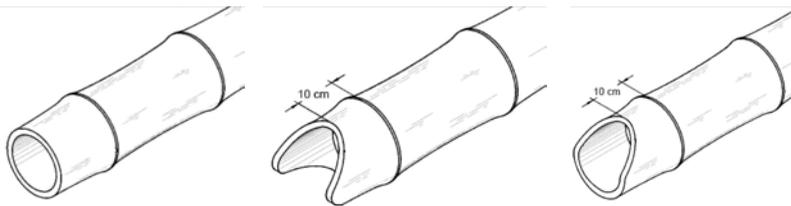


Figura 19 - Cortes do bambu: reto, boca de peixe e bico de flauta
Fonte: Regulamento Colombiano de Construção NSR-10 (2010)

Os colmos de bambu têm limitada resistência ao cisalhamento paralelo às fibras, por esse motivo, nunca devem realizar-se uniões estruturais entre os colmos de bambu utilizando pregos.

No caso de uso de parafusos, o diâmetro deve ser no mínimo de 9,5 mm e os furos feitos nos colmos de bambu para esse fim devem ter um diâmetro 1,5 mm maior do que os parafusos.

Todos os elementos metálicos usados (parafusos, porcas, abraçadeiras) para as uniões devem ter um tratamento anti-corrosivo prévio a sua aplicação.

O espaçamento entre parafusos não deve ser menos de 150 mm nem mais do que 250 mm. A distância do parafuso até o extremo de um colmo de bambu submetido à compressão deve ser mais de 100 mm, e para um colmo submetido à tração mais de 150 mm.

Um dos principais problemas que se apresentam nas uniões de bambu e concreto é a higroscopicidade do bambu, que faz com que o material absorva a água do concreto.

Ghavami (2004) recomenda a aplicação de Sikadur-32 gel (um tipo de resina epóxi) junto com areia diretamente no bambu. Esse produto tem a função de limitar a capacidade do bambu para absorver água, enquanto a areia é colocada junto para melhorar a aderência com o concreto.

Para os elementos estruturais submetidos à flexão: O bambu *Guadua* é um material muito flexível, mas para evitar a falha por achatamento nos elementos horizontais de bambu roliço, os apoios devem estar próximos aos nós. (Figura 20)

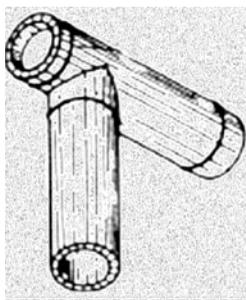


Figura 20- Detalhe da união de viga e coluna de bambu

Fonte: Hidalgo (2003)

Nas vigas compostas por mais de um colmo de bambu, é preciso garantir a unidade estrutural usando parafusos e abraçadeiras metálicas entre os colmos; a distância entre essas uniões metálicas não deve ser maior do que um quarto da distância entre as colunas e o interior dos

entrenós pelos quais passam os parafusos deve ser preenchido com argamassa. (Figura 21)

Todos os entrenós que estejam submetidos a esforços pontuais de compressão perpendicular às fibras, devem estar preenchidos com argamassa de cimento em proporção 1:3. As perfurações feitas nos entrenós para a colocação da argamassa não deve ter um diâmetro maior que 26 mm.

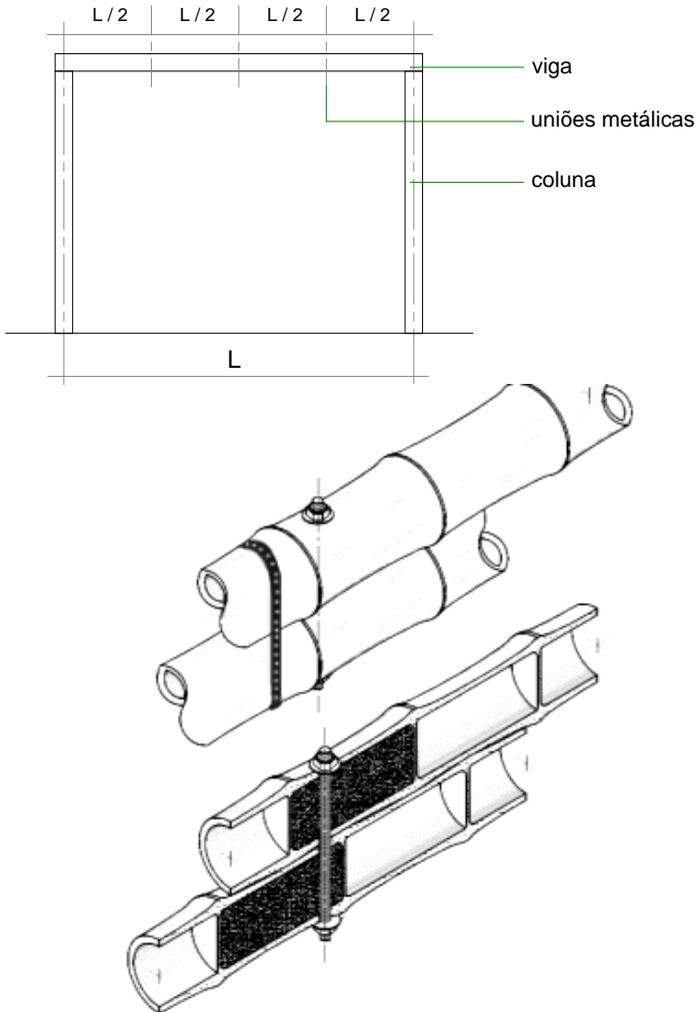


Figura 21 - Detalhe união metálica reforçada de bambus em viga composta
Fonte: adaptado de Regulamento Colombiano de construção NSR-10 (2010)

Para os elementos solicitados por forças paralelas às fibras: como reforço, todos os entrenós dos elementos verticais que são parte dessas uniões devem ser preenchidos com argamassa de concreto.

As colunas conformadas por mais de um colmo de *Guadua* devem estar conectadas entre si por elementos metálicos que garantam a unidade estrutural.

Proteção contra o Fogo: O bambu *Guadua* é um material combustível e pode inflamar-se facilmente, é preciso tomar medidas preventivas de segurança para evitar o início e propagação de incêndios.

Deve ser limitada a aplicação no bambu de lacas, vernizes, substâncias óleos-solúveis, que possam contribuir com a propagação do fogo. Se o usuário optar pela aplicação de algum acabamento para o bambu, deve cuidar que seja um produto ignífero.

Proteção contra umidade: pela higroscopicidade do material, os elementos de *Guadua* não devem estar em contato direto com o chão nem expostos à intempérie.

Manutenção: toda construção feita com bambu precisa de atenção e manutenção ao longo da sua vida útil, considerando o movimento que o bambu pode sofrer causado pela umidade e temperatura do ambiente vai precisar ajustes e reparações. A norma colombiana faz as seguintes recomendações de manutenção:

- Os elementos de *Guadua* que sofrerem desajuste por contrações do material, precisam ser acertados.
- Se algum elemento da estrutura apresentar rachaduras, esmagamento, deformações excessivas ou apodrecimento é preciso trocar a peça, sendo que para esses procedimentos é preciso chamar a um profissional qualificado.
- Devem inspecionar-se freqüentemente as peças de bambu que estejam à vista para verificar que não estejam sendo atacadas por agentes biológicos.
- É preciso constatar continuamente o correto funcionamento de instalações elétricas e de água, para prever riscos de incêndios ou umidades que possam afetar a durabilidade do bambu.

No caso de presença de algum cupim ou besouro na peça, Montoya (2008) recomenda injetar a mesma solução de sais de boro, que foi usada para o tratamento preventivo, no nó afetado.

Se o reboco de alguma parede chegasse a sofrer algum dano, deixando visível a esteira de bambu, é preciso recobri-la novamente com argamassa.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso está dividido em duas partes: a primeira é descritiva e está baseada em entrevistas e informações proporcionadas pela instituição que participou do projeto, está relacionada com a concepção e execução da obra; já na segunda parte encontra-se a avaliação pós-ocupação das habitações.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO ANALISADO

3.1.1 Esclarecimentos prévios

A instituição executora do projeto foi uma ONG registrada no *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda* (MIDUVI) no Equador. No presente trabalho não se menciona sua razão social, posto que a fundação dividiu-se em duas que agora trabalham com seus objetivos mais específicos, cada uma com um nome distinto do anterior.

Todas as fotografias inclusas no Quadro 4 da seção 3.1.3 deste capítulo, foram cedidas por Esteban Torres.

3.1.2 Descrição geral do projeto

Este projeto piloto, que foi executado em fevereiro de 2008, consistiu na construção de quatro casas em *Santo Domingo de los Tsáchilas*, uma cidade do Equador, que tem uma população de 450 000 habitantes e que, nas últimas décadas, apresentou um acelerado crescimento demográfico por causa da imigração. Esta situação tem ocasionado o surgimento de bairros periféricos que nasceram como invasões de terras.

Nesses lugares, que não contam com todos os serviços básicos, as casas são geralmente levantadas informalmente por seus proprietários. Naquele contexto desenvolveu-se o trabalho da ONG já citada, cuja proposta de moradia foi um projeto baseado nas seguintes condições:

- Uso de recurso local, que é o bambu *Guadua*, como material de construção.
- Prolongar a vida útil do *Guadua* e aplicá-la de modo a melhor aproveitar suas propriedades.

- A tecnologia empregada deve ser de fácil montagem e replicável.
- Incluir no processo de construção a participação de voluntários e das famílias beneficiadas.
- Cumprir com os requisitos de habitação de interesse social estabelecidos pelo MIDUVI, na época.

3.1.3 Tipologia da casa construída

O projeto contemplava uma casa térrea, com uma área de 36 m², distribuídos em dois dormitórios, um banheiro, uma cozinha e uma área social. (Figura 22)

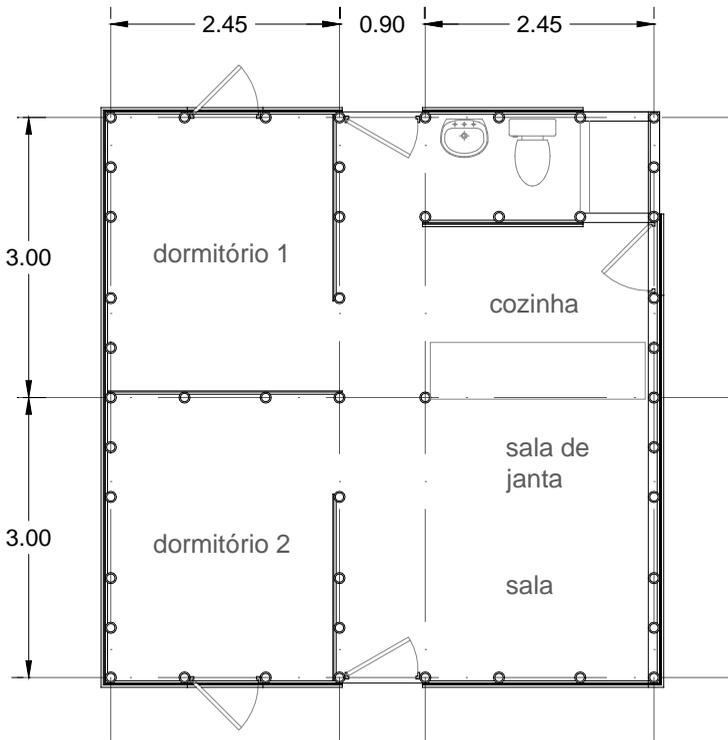


Figura 22 – Estudo de caso – planta tipo das casas
Fonte: Esteban Torres

Os materiais utilizados foram: concreto na laje da base tipo radier, bambu para a estrutura e paredes e uma cobertura de lâminas de aço de 2,5mm de espessura.

O processo de construção de cada casa teve uma duração de duas semanas. Na primeira, a execução da fundação na forma de uma laje para a base com as instalações de água e esgoto e na segunda semana a elevação do restante da habitação.

A seguir, não Quadro 4 pode-se observar a sequência do processo construtivo da casa, com ênfase às partes nas quais o bambu *Guadua* foi aplicado.

Quadro 4- Estudo de caso: processo construtivo da casa.



1. Três meses antes da construção, o bambu *Guadua* foi adquirido com idade entre 4 e 6 anos.

Internamente, seus diafragmas foram perfurados e os colmos foram colocados numa piscina preparada fazendo um buraco no chão coberto com plástico, os bambus permaneceram ali por 3-4 dias para o tratamento com bórax e ácido bórico, numa proporção de 1 kg de bórax, 1 kg de ácido bórico por cada 100 litros de água.



2. As peças foram colocadas para secagem durante 2 semanas.

Posteriormente, elas foram lavadas por fora com palha de aço e água, para tirar os fungos e a sujeira.

Quadro 4- Estudo de caso: processo construtivo da casa. (continuação)



3. Na primeira semana de construção foi preparada a laje da base, com as instalações de água e esgoto.

Também foram posicionadas barras de aço nos lugares onde posteriormente seriam fixadas as colunas de *Guadua*, deixando a metade de cada barra exposta, como espera.

Nesta etapa não participaram voluntários e foi confiada a profissionais contratados pela ONG: pedreiros e carpinteiros.



4. Na semana seguinte foi a etapa do processo de construção, do qual participaram os voluntários e a comunidade.

O primeiro passo foi preparar as peças de bambu que foram cortadas nos tamanhos previstos em projeto.

Para a ligação dessas colunas com a laje, foi realizado, com serra-copo, um furo lateral no entrenó da parte inferior das colunas estruturais.



5. Quando as peças ficaram prontas, foram montados os módulos estruturais no chão, usando os bambus de maior diâmetro e sendo que a união entre as peças foi realizada por furos de broca, parafusos e porcas.

Este é um processo bastante simples de ser realizado com mão de obra não especializada. Para evitar rachaduras, essas ligações foram posicionadas perto dos nós das peças.



6. Posteriormente, cada módulo estrutural foi instalado, posicionando-se as colunas de bambu nas barras de aço previamente chumbadas na laje. A fixação das mesmas foi realizada pela introdução de concreto no entrenó inferior, previamente furado na lateral para facilitar essa tarefa.

Quadro 4- Estudo de caso: processo construtivo da casa. (continuação)



7. O passo seguinte foi o de ajustar cada módulo com o módulo contíguo, também por meio de parafusos.

As portas e janelas pré-fabricadas foram testadas e ajustadas durante a instalação, para evitar posterior mau funcionamento.



8. Depois da montagem dos módulos estruturais, foram instaladas as vigas da cobertura e também a estrutura secundária de colunas de bambu, na qual as paredes foram fixadas posteriormente.



9. Para construir as paredes, alguns colmos de bambu precisaram ser abertos e transformados em esteiras. Este processo foi realizado no canteiro de obra.

Geralmente para este fim são utilizados os bambus que estejam menos secos, porque facilita o trabalho.



10. As esteiras de bambu foram pregadas às colunas verticais roliças.

Essas esteiras formadas pelas régua, receberam, de um dos lados, uma malha de arame farpado, de 30 cm x 30 cm, para facilitar a aplicação da argamassa de reboco sobre o bambu.

Antes da aplicação do reboco, cada esteira de bambu foi umedecida.

Quadro 4- Estudo de caso: processo construtivo da casa. (continuação)



11. A argamassa para o reboco das paredes foi preparada para a primeira camada com traço de 1:2 e para a segunda com o traço: 1:3.



12. O reboco foi aplicado sobre a parte menos densa das esteiras do bambu, ou seja, aquela que antes era a face interna dos colmos.

A técnica para a aplicação da argamassa é fazendo pressão para ajudar a fixação da mesma sobre o bambu.



13. O acabamento final da maioria dos ambientes internos da construção ficou aparente e formado pelas esteiras de bambu, com a face que antes era a parte externa dos colmos e considerada de constituição mais densa.



14. Na parte externa da construção, o acabamento final aparente é com o reboco, que serve também para melhorar a proteção do bambu ao intemperismo.

3.1.4 Conclusões do processo de construção segundo o ponto de vista da ONG

Ao perguntar para os membros da ONG executora do projeto qual a avaliação do processo de construção, depois das observações que eles realizaram, quanto ao que manteriam ou mudariam, eles deram as seguintes respostas:

Pontos a serem mantidos:

- É perfeitamente possível continuar trabalhando com bambu *Guadua* na composição estrutural e da construção como um todo, pois é de fácil trabalhabilidade, mesmo se for considerada a falta de experiência dos voluntários e da comunidade. Além disso, o material é durável, dá bons resultados e é de baixo custo.
- O uso das esteiras de bambu rebocadas nas paredes melhora as condições térmicas da moradia, além de proteger contra o intemperismo.

Aspectos que poderiam ser melhorados:

- Nas paredes compostas por esteiras rebocadas em apenas uma das faces, observou-se que algumas famílias decidiram rebocar também a outra face. Isto porque, preferem ter uma parede lisa, mesmo que ocasione um aumento do custo da casa pelo uso adicional de cimento.
- Os voluntários participantes do processo construtivo mencionaram dificuldades para a colocação do arame farpado e também para o corte das esteiras de fechamento das paredes, devidas à falta de modulação.
- Foi observado que duas das famílias fizeram modificações nas casas. Portanto, seria interessante propor um protótipo de casa que ofereça a possibilidade de ampliação, em função das necessidades dos usuários, estabelecendo, por exemplo, um módulo básico que seja fixo e outros que possam ser posteriormente incorporados.
- Foram constatados também, problemas de adequação dos módulos das aberturas, como portas e janelas, com a estrutura de bambu *Guadua*, portanto, devem ser estudadas alternativas que possibilitem melhorar essa questão.
- As famílias também relataram problemas com o mecanismo de pagamento da casa e sugerem a busca de outras formas de pagamento.

- Realizar estudo prévio quanto à melhor orientação das casas no terreno, também foi uma observação a ser levada em consideração.
- Procurar melhorar o traço usado na argamassa de reboco das paredes, também deve ser objeto de estudo para evitar as rachaduras que foram observadas.

3.2 AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO

Para desenvolver esta parte do trabalho realizaram-se visitas ao bairro, visando entrevistar as famílias que ocupam as quatro casas objeto do presente estudo de caso. Não se logrou pleno êxito porque a casa três estava desocupada e na casa quatro não havia ninguém nos dias das visitas.

A seguir, é apresentada a análise realizada nas visitas ao bairro, baseada nas informações levantadas das casas um e dois; além de uma descrição do que pode ser observado nos exteriores da casa três.

3.2.1 Satisfação do usuário e análise de aspectos construtivos da Casa 1

Moram atualmente nesse domicílio, cinco pessoas, das quais uma só é criança. Este ponto é importante, porque neste caso os adultos podem dar certa manutenção à residência.

A casa conta com água de poço, luz elétrica e instalações para esgoto, sendo que este ainda não está com a rede funcionando no bairro.

Em relação à metodologia empregada na construção da casa, a percepção foi a de que o compartilhar as atividades com os voluntários, deu ótimo resultado no sentido da troca de experiências e reduzir o tempo de obra no canteiro.

Além disso, ficou evidente o manifestado pelos proprietários de ser esta uma boa oportunidade para se obter a casa própria (segundo suas próprias palavras).

A questão da redução máxima do tempo do canteiro de obras é sumamente importante no caso da HIS para usuários com este perfil, porque geralmente o terreno no qual se constrói a casa é a única propriedade que possuem, e a renda familiar não os possibilita de pagar aluguel.

Quanto à percepção estética do usuário a respeito de sua moradia, a dona da casa manifestou seu agrado pelo bambu estrutural à vista, porque é um material da região, que chama a atenção e desperta a

curiosidade de quem visita sua casa. Na Figura 23 se vê o acabamento dado às paredes deixando o bambu estrutural à vista, ressaltando o contraste do material.



Figura 23 – Estado do bambu estrutural na casa 1

Por outro lado, os usuários preferiram dar um acabamento liso em todas as paredes, mesmo aquelas cujo acabamento era o de esteira de bambu aparente.

Essa opção de cobrir as esteiras de bambu poderia responder à preferência do usuário pelas paredes lisas, que são as que comumente o mercado imobiliário oferece.

A proprietária disse que durante o tempo de uso da moradia não se observou problemas relacionados aos materiais de construção, nem de degradação do bambu por umidade ou por presença de pragas.

As principais modificações realizadas na casa foram as ampliações e a mudança da fachada principal. A mudança na fachada principal, segundo os usuários, foi basicamente por segurança, posto que sentiram a necessidade de colocar uma grade nas janelas.

As janelas foram trocadas por outras maiores de alumínio com vidro e uma grade externa. Devido ao desconhecimento dos usuários sobre a maneira de fixar as grades na fachada de bambu, eles mudaram o material de parte da fachada, por blocos. Na Figura 24 se pode observar a fachada atual da casa.

Outras modificações realizadas na casa foram as ampliações. Neste caso, observou-se que em nenhuma delas se usou o bambu. Os materiais utilizados foram blocos nas paredes e estrutura metálica para o teto. A usuária explicou que esses são os materiais cuja aplicação é conhecida por seu filho, que foi quem realizou o trabalho.



Figura 24 – Fachada frontal da casa 1

Quanto às ampliações e modificações na planta arquitetônica da casa, baseadas no projeto inicial. Os espaços acrescentados foram: dois dormitórios, uma lavanderia, um banheiro e uma sala, posto que o espaço onde funcionava a antiga sala foi modificado para ser uma área de estudo. (Figura 25)

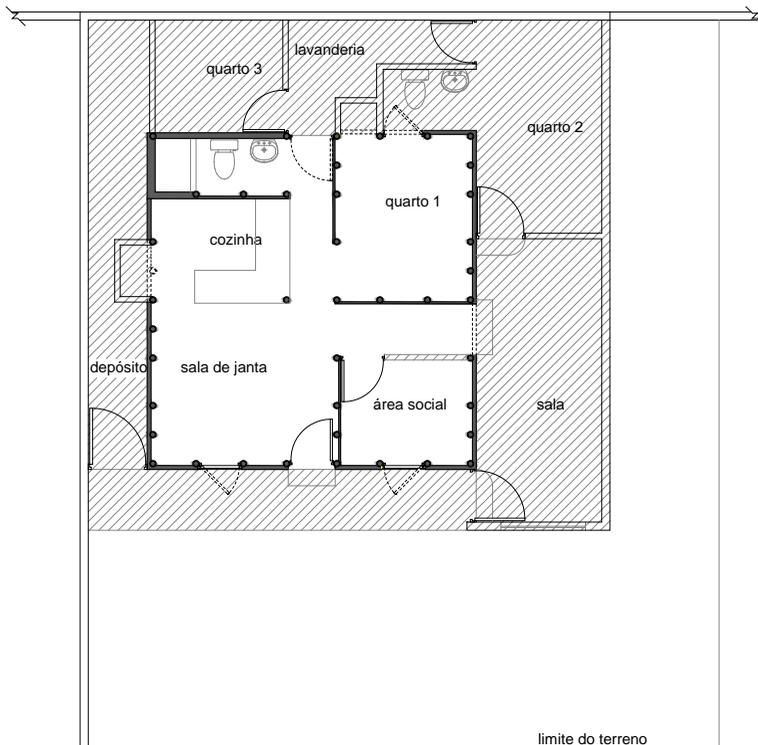


Figura 25 – Ampliações da casa 1

Depois destas áreas serem acrescentadas, alguns espaços internos da casa ficaram sem ventilação natural, como é o caso dos quartos 1 e 2, da lavanderia e dos banheiros. A iluminação do banheiro e da lavanderia foi resolvida com coberturas translúcidas, enquanto os outros espaços ficaram sem luz natural.

Na figura 26 pode ser observado o estado atual do quarto 1. Nessa parede, que antes era o limite da parte posterior da casa, existia uma janela, que foi substituída por um vão que vai até o chão e no qual se colocou uma cortina, criando uma passagem para um closet.



Figura 26 – Estado atual do quarto 1 da casa 1

As ampliações foram realizadas nas fachadas laterais e posterior, estendendo-se em toda a área, até os limites do terreno. Por este motivo só é possível fazer uma comparação da fachada frontal inicial com a fachada frontal atual já incluindo as adequações.

Ao perguntar à proprietária acerca de outras modificações que ela faria na casa se tivesse a oportunidade, ela respondeu que só na cobertura, caso viesse a estragar, mas que não mudaria nada mais.

Avaliação da edificação

Terraplanagem: a plataforma na qual se construiu a casa era plana. E neste caso, os proprietários construíram uma calçada ao redor da casa para elevar o nível da construção, isto junto à inclinação natural do terreno afasta as águas pluviais do entorno da casa.

Fundações: não foram identificadas patologias na laje de piso da casa e as ampliações realizadas ao redor da construção têm protegido as bordas de umidades.

Estrutura: os módulos estruturais, construídos com bambu e que compõem a estrutura principal da casa, não apresentam patologias. Em geral o sistema estrutural está em bom estado, mas é preciso fazer algumas observações:

As porcas e parafusos das uniões não apresentam ferrugem, mas em alguns lugares foi preciso ajustá-las porque os colmos de bambu se retraíram com o passar do tempo. Não existem rachaduras no bambu ocasionadas por esses elementos de aço.

No entanto, na fotografia 27 se observa uma rachadura no extremo de um dos colmos superiores de um módulo estrutural, ocasionada pelo encaixe posterior de outra peça de bambu para solucionar uma descontinuidade dos módulos estruturais, não prevista no projeto.



Figura 27 – Rachadura de um dos colmos de bambu da estrutura

Este foi um erro na construção posto que as extremidades de cada bambu estrutural deveriam ter sido selados com argamassa depois da montagem da estrutura, como proteção do material e para que nenhum outro elemento pudesse ter sido introduzido.

Finalmente, a estrutura secundária de bambu, colocada sobre os módulos estruturais para a fixação da cobertura, apresenta rachaduras em alguns dos colmos ocasionadas pela retração natural do bambu.

Vedações verticais: tanto as internas como as externas não apresentam patologias nesta casa. Em geral atendem as necessidades

para as quais foram projetadas. As paredes da casa foram pintadas recentemente, dificultando a identificação de patologias, mas conversando com a proprietária ela assinalou que não existiam problemas com estes elementos.

Cobertura: a cobertura de telhas metálicas não apresenta problemas além do barulho durante as chuvas. As ampliações da casa e da cobertura na parte frontal, posterior e lateral ajudam a proteger as paredes de bambu dos respingos de águas pluviais, no entanto não existe um sistema de captação dessas águas.

Além disso, a falta de vedação na parte superior do módulo estrutural das fachadas, por representar um problema de segurança, acabou sendo fechado na fachada frontal.

Vãos: inicialmente houve problemas com os vãos de portas e janelas, pela irregularidade do bambu, porque foi difícil encaixar esses elementos de madeira com o colmo irregular do bambu. As esquadrias apresentavam problemas funcionais o que não possibilitava o correto fechamento desses elementos.

A proprietária resolveu substituir as janelas de madeira da fachada frontal da casa e por segurança, decidiu substituí-las por esquadrias de alumínio e vidro com grade externa instalada.

Revestimentos: quando construída, a casa foi entregue com reboco nas paredes exteriores e algumas interiores. A proprietária decidiu rebocar todas as paredes internas para obter um acabamento liso em todas elas, e também pintou a casa inteira. Os azulejos colocados nas áreas úmidas, como cozinha e banheiros, não apresentam problemas.

Instalações Elétricas: as instalações elétricas não foram consideradas durante o processo de construção, portanto toda essa parte foi realizada depois. Isto ocasiona que todos os condutores elétricos estejam à vista, sendo um problema de segurança. (Figura 28)



Figura 28 – Estado das instalações elétricas na casa 1

Pavimentos: o piso da casa não foi entregue com acabamento e ainda encontra-se nesse estado. Apresenta algumas manchas de pintura e de cimento nas áreas próximas às paredes.

Instalações Hidráulicas: não pode ser avaliada posto que a água que abastece a casa é de poço e a rede de esgoto ainda não está funcionando no bairro.

Portanto, as instalações de água potável ainda não estão funcionando e os esgotos atualmente são conduzidos para um tanque séptico. As peças sanitárias estão em bom estado.

3.2.2 Satisfação do usuário e análise de aspectos construtivos da Casa 2

Avaliação de satisfação do usuário

Neste domicílio atualmente moram cinco pessoas, das quais três são crianças. Das duas mulheres adultas, uma trabalha o dia inteiro, a outra tem idade avançada; dificultando a manutenção da edificação.

A casa conta com água de poço, luz elétrica e instalações para esgoto, que ainda não está em funcionamento no bairro.

Em relação à metodologia de construção da casa, na entrevista a usuária deixa transparecer que foi bem aceita, mas pode-se perceber que ela apresenta certa desconfiança com respeito à qualidade da construção e do material usado, que preferiria uma casa de alvenaria convencional.

Não foi dado um acabamento na casa depois da construção. As paredes nas quais se colocou argamassa permanecem com o reboco à vista e as outras paredes internas ainda têm o bambu aparente. (Figura 29)



Figura 29 – Estado atual das paredes da casa 2

A Figura 30 mostra as ampliações realizadas nesta casa, que inicialmente foi construída com certas alterações na planta tipo do projeto. Os usuários não quiseram que o banheiro fosse colocado ao interior da moradia. Isto fez com que a cozinha ficasse maior.

Imediatamente após a construção, foi realizada uma ampliação de dois dormitórios na parte posterior da casa, utilizando os materiais da antiga casa. Está planejando no futuro fazer uma ampliação da parte posterior da casa usando blocos de cimento.

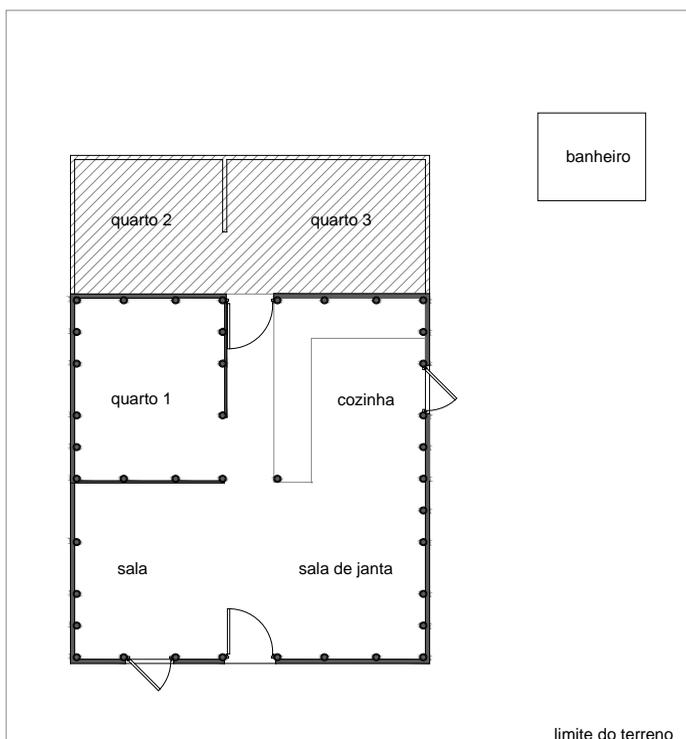


Figura 30 – Ampliações da casa 2

A proprietária disse que o único problema verificado, foi a ação da umidade numa das fachadas laterais ocasionada pela proximidade do tanque de lavar roupas, mas que foi resolvida depois de mudá-lo de lugar.

Avaliação da edificação

Terraplanagem: do mesmo modo que na casa anterior, a plataforma na qual se construiu a casa era plana.

Durante a construção foi cavada uma calha ao redor da casa para conduzir as águas de chuvas para longe da laje, mas atualmente não tem mais essa calha e a umidade está alcançando a construção. (Figura 31)



Figura 31 – Estado do terreno lateral da casa 2

Fundações: não foram identificadas patologias significativas na laje de piso da casa, pois a impermeabilização foi adequada e só se verifica umidade nas bordas, pela falta de calhas nas fachadas laterais, essa situação agravou pelo contato direto das esteiras rebocadas com o chão e falta de impermeabilização das bases das paredes que permitiu a ascensão da água.

Estrutura: as peças de bambu dos módulos da estrutura principal da casa em geral estão em bom estado.

As porcas e parafusos das uniões não apresentam ferrugem e não têm ocasionado rachaduras nos colmos.

As únicas peças de bambu naqueles módulos que apresentam deterioração são aquelas da fachada frontal que ficam expostas ao sol, essa fachada tem orientação para o leste e os raios ultravioletas têm ocasionado mudança de cor e rachaduras nos colmos. (Figura 32)



Figura 32 – Fachada frontal da casa 2

Vedações verticais: na mesma Figura 27 pode-se ver um dos problemas que apresenta a parede da fachada frontal da casa, onde a proprietária pendurou com pregos e arame vários vasos com plantas ornamentais. Isto atualmente não tem ocasionado patologias na parede, mas ela não foi projetada para suportar esse peso adicional.

Além disso, esses pregos com o passar do tempo vão sofrer deterioração por estarem sujeitos ao intemperismo, podendo vir a afetar as esteiras de bambu internas da parede e consequentemente, comprometer a parede de vedação.

Como já foi mencionado, as vedações externas das fachadas laterais, apresentam umidade na parte inferior. Essa umidade não é visível ainda no interior da casa, mas poderia afetar seriamente as peças de bambu mais próximas.

O reboco apresenta rachaduras em algumas paredes, isso é muito comum pela técnica usada, geralmente ocorre pela retração do bambu no processo de secagem, o que pode ser evitado com uma modificação no traço da argamassa.

A falta de manutenção é um dos maiores agravantes dos problemas identificados, sobretudo no caso das paredes da casa que tem contato direto tanto com usuários e objetos, quanto com o clima.

Um dos problemas identificados está na região próxima ao piso onde as paredes internas ficaram com o bambu à vista. Na figura 33 pode-se ver a falha por deterioração da vedação.



Figura 33 – União da parede de bambu com o chão na casa 2

Cobertura: a cobertura de aço não apresenta infiltrações, mas o principal problema são os beirais estreitos e a ausência de um sistema perimetral de calhas para a captação de águas pluviais.

A falta de vedação das fachadas na parte superior do módulo estrutural que sustenta a cobertura, neste caso, foi resolvida pela proprietária pela colocação de bambus abertos. Ela disse que ficou bom, mas que preferia uma solução melhor para esse problema. Na região da cumeeira observaram-se infiltrações de água durante as chuvas, dependendo da direção do vento.

Aberturas: Cada ambiente tem uma janela para a ventilação e iluminação. As janelas devem permanecer abertas o dia inteiro para este fim. No caso de chuvas fortes nas quais seja preciso fechá-las, os ambientes ficam escuros. O projeto das janelas, em alguns casos, atrapalha a circulação, como é o caso da cozinha. (Figura 34)



Figura 34 – Vista da cozinha na casa 2

Revestimentos: a casa foi entregue com o reboco nas paredes exteriores e algumas interiores. A proprietária deixou as paredes no estado em que recebeu. Somente azulejos foram colocados na cozinha e não apresentam problemas.

Pavimentos: o piso da casa não foi entregue com acabamento e ainda encontra-se nesse estado, mas não apresenta problemas.

Instalações Hidráulicas: não pode ser avaliada posto que a água que abastece a casa é de poço e a rede de esgoto ainda não está funcionando no bairro. Portanto, as instalações de água potável ainda não estão operando e os esgotos atualmente são conduzidos para um tanque séptico.

Instalações Elétricas: as instalações elétricas não foram consideradas durante o processo de construção, conseqüentemente todas as conexões foram realizadas posteriormente. Desta maneira, todos os condutores elétricos estão à vista, o que representa um problema de segurança.

3.2.3 Observações da casa 3

Essa casa atualmente está desabitada, a Figura 35 mostra seu estado no momento da visita. O maior problema identificado foi a umidade na parte inferior das paredes, sobretudo nas fachadas laterais.

Neste caso o usuário também fechou a abertura que existia entre a parte alta das paredes e a cobertura nas fachadas frontal e posterior, para isto usaram tiras de bambu.

Não foram realizadas ampliações.



Figura 35 – Estado da casa 3

3.3 RECOMENDAÇÕES PARA O ESTUDO DE CASO

As sugestões realizadas nesta parte da pesquisa estão focadas na otimização do uso do bambu *Guadua* visando o atendimento a esse tipo de construção estudada.

Pela natureza do caso analisado decidiu-se agrupar as recomendações técnicas de acordo com: etapas de projeto, construção e uso da casa.

Isto permitirá evidenciar cada parte do processo do uso do material e todos os aspectos a serem considerados visando a sua adequada aplicação.

3.3.1 Etapa de projeto

Matéria prima

No que se refere à preparação do bambu para a sua aplicação na construção, o tratamento empregado para melhorar a sua resistência biológica, teve ótimos resultados e recomenda-se, portanto a sua manutenção.

A etapa de secagem do material deve ser pelo menos de 8 semanas e é recomendável que durante esse tempo os colmos não tenham contato direto com o chão.

Quanto aos fornecedores da matéria prima, é preciso investigar sobre a origem e o modo de cultivo do bambu antes da compra. Isto para promover uma cultura de manejo sustentável dos bambuzais, que venham a causar o menor impacto ambiental possível e que possam garantir também a qualidade do bambu para a sua aplicação na construção.

Na Figura 36 estão indicadas as regiões onde foram detectados os problemas mais comuns nesse estudo de caso. A eles será dedicada maior atenção para as recomendações que basicamente têm a ver com detalhes arquitetônicos.



Figura 36 – Principais problemas identificados no estudo de caso
Fonte: Esteban Torres

A. Umidades na parte baixa das vedações verticais externas, onde o bambu e argamassa fazem contato com o chão

O princípio básico para evitar esta patologia é impedir a passagem da umidade que provêm do solo. Portanto, se faz necessário:

- Ter cuidado sempre de construir uma calha cheia de pedriscos ao redor da casa para recolher e conduzir águas pluviais ou aumentar o beiral.
- Distanciar a parede, do solo. Para isto, pode ser construída uma calçada ao redor da casa ou fazer uma base que permita elevar a casa, afastando-a do chão.
- Também se pode utilizar impermeabilizante na parte inferior da parede exterior.

B. Patologias de paredes

- As rachaduras das paredes podem ser evitadas por meio da otimização do traço utilizado para o reboco.
- Considerando que o bambu ainda está em processo de aceitação, é preferível projetar paredes com reboco em ambos os lados

porque assim requer menos manutenção e se prolonga a durabilidade.

C. Espaços abertos abaixo da cobertura

- Procurar uma solução de projeto, para o fechamento da abertura que fica entre a parede e a cobertura, na região das fachadas, evitando o ingresso de insetos, ou pequenos animais, ou ainda, para melhorar a segurança da casa.
- De qualquer forma, tendo em vista o clima quente e úmido da região, esse fechamento deve permitir a ventilação superior dos ambientes internos.

D. Problemas com a cobertura

- Projetar beirais maiores, tendo em vista a necessária proteção das paredes, portas e janelas, da ação das águas pluviais, além de melhorar a condição de sombra e proteção para as peças de bambu que ficam no exterior.
- Considerar no projeto arquitetônico o fechamento da cumeeira, posto que o projeto atual apresenta uma abertura que permite a passagem de água ou animais.
- Analisar a possibilidade de novas opções de cobertura para a casa, que melhore o desempenho térmico e acústico.

E. Adaptação de outros elementos para as aberturas, como portas e janelas.

- Melhorar os detalhes da união desses elementos com a construção em bambu, tendo em vista a irregularidade dos colmos.
- Rever o projeto das janelas, visando não atrapalhar a circulação e nem reduzir a área útil dos espaços interiores.
- Estudar a possibilidade de um projeto de janelas que permitam iluminar e ventilar os espaços e também possam incluir grades ou que permitam a colocação posterior desses elementos importantes para a segurança da casa.

F. Instalações elétricas

- No projeto da habitação deveria ser considerada a parte das instalações elétricas para serem realizadas durante o processo de construção, ou ser implantada posteriormente.

Outros aspectos a serem considerados no projeto:

- Em geral, os usuários destas habitações contam com poucos recursos para manutenção da casa e por isso é preciso projetá-la visando proporcionar ao máximo de vida útil aos materiais usados.
- Para garantir o uso de materiais duráveis, poderiam ser incluídas, já no projeto inicial, as especificações de revestimentos de piso e parede para as áreas molhadas, como cozinha e banheiro.
- O projeto inicial da casa poderia considerar uma planta básica de um projeto embrião e a possibilidade de ampliação futura.

3.3.2 Etapa de construção

- Para proporcionar maior confiança ao usuário, quanto ao uso do bambu, poderiam ser realizadas etapas de capacitação, oferecidas para os voluntários e a comunidade, focadas no emprego do Bambu *Guadua* como material de construção. Deveria ser dada ênfase à durabilidade e, sobretudo à lógica do correto uso do material. Seria também uma maneira de garantir que se dê a devida atenção aos detalhes construtivos na hora da construção.
- Posto que a maior parte da construção se executa com mão de obra não especializada, como complemento à capacitação é preciso elaborar um manual com especificações técnicas que permitam seguir o passo a passo de cada etapa da construção da casa.
- Durante o processo de construção, deveriam ser realizadas diariamente fiscalizações ou avaliações de cada etapa da obra.
- Para implantar a casa no terreno deve ser considerada a orientação solar.

3.3.3 Etapa de uso

- Ao receber a casa construída, o proprietário deveria receber um manual de manutenção e cuidados que a casa requer, visando prolongar sua vida útil. Neste manual poderiam se incluir opções de acabamentos e possibilidades de ampliação mencionadas no ponto 3.3.1.

4 DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA CONSTRUTIVA

Um processo construtivo pondera aspectos econômicos, sociais, ambientais, tecnológicos e humanos para determinar a forma de execução e tecnologia que será aplicada no sistema construtivo. Para este caso os principais parâmetros contemplados são: a boa aplicação do bambu *Guadua* como material de construção, a facilidade de montagem e réplica da tecnologia feita inclusive por mão de obra não especializada e o atendimento das exigências de qualidade dos usuários.

Nesta parte do trabalho, considerando as recomendações listadas no capítulo anterior, é apresentada a proposta de melhoria no sistema construtivo aplicada na habitação analisada no estudo de caso.

4.1 A PREPARAÇÃO DO BAMBU GUADUA

Na proposta construtiva são utilizados colmos de bambu inteiros, esteiras e tiras. (Figura 37). A transformação dos colmos de bambu em esteiras e tiras pode ser realizada manualmente no canteiro com o uso de ferramentas simples: facão e machado.



Figura 37 – Colmos, esteiras e tiras de bambu
Fonte: Poppens e Morán (2005)

O bambu pode ser extraído diretamente da touceira ou comprado de um fornecedor. Assumindo que for comprado, no momento da aquisição, pode ser solicitado que os colmos inteiros sejam trazidos desde o lugar de produção com um comprimento determinado, que geralmente pode ser até 10 m. O comumente encontrado nas serrarias tem aproximadamente 6 m aproveitáveis.

Do mesmo jeito e dependendo da quantidade, pode ser solicitado ao fornecedor que o número de bambus que forem necessários já venha

previamente aberto, ou seja, transformado em esteiras. Isto reduzirá custo de transporte, porque as esteiras ocupam menor espaço, permitindo levar uma maior quantidade.

Se a compra de esteiras de bambu prontas não for possível, é preciso fazer esse procedimento de abertura dos colmos antes do processo de secagem, porque as fibras saturadas do bambu facilitam o processo.

A Figura 38 mostra o processo de fabricação de uma esteira a partir do colmo de bambu. Primeiro o colmo deve ser cortado a partir de cada extremo, em seguida faz-se um corte longitudinal para abrir e finalmente limpar a parte interna do colmo.



Figura 38 – Fabricação de esteira a partir do colmo de bambu

Fonte: Poppens e Morán (2005)

4.1.1 Secagem

Alguns fornecedores podem oferecer o bambu já seco, nesse caso é preciso conferir se já atingiu o ponto de equilíbrio com o meio ambiente; caso contrário, é preciso secar o bambu. Neste caso, pelo custo o método escolhido é de secagem natural. Este processo dura ao redor de dois meses e este período deve ser considerado dentro da planificação da construção.

4.1.2 Preservação

É utilizado o método de imersão por ser o mais econômico e efetivo⁵; deve-se perfurar a parte interna dos colmos para depois colocá-los dentro do tanque que contém a solução preservativa, preparada com 4 kg de ácido bórico e 2 kg de bórax por cada 100 l de água. Os bambus devem permanecer submersos por quatro dias.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO

A construção se desenvolve em nível térreo, sua área inicial é de 39,4m² distribuídos em dois dormitórios, sala e cozinha integradas e um banheiro. As Figuras 39 e 40 indicam a planta, fachada e corte.

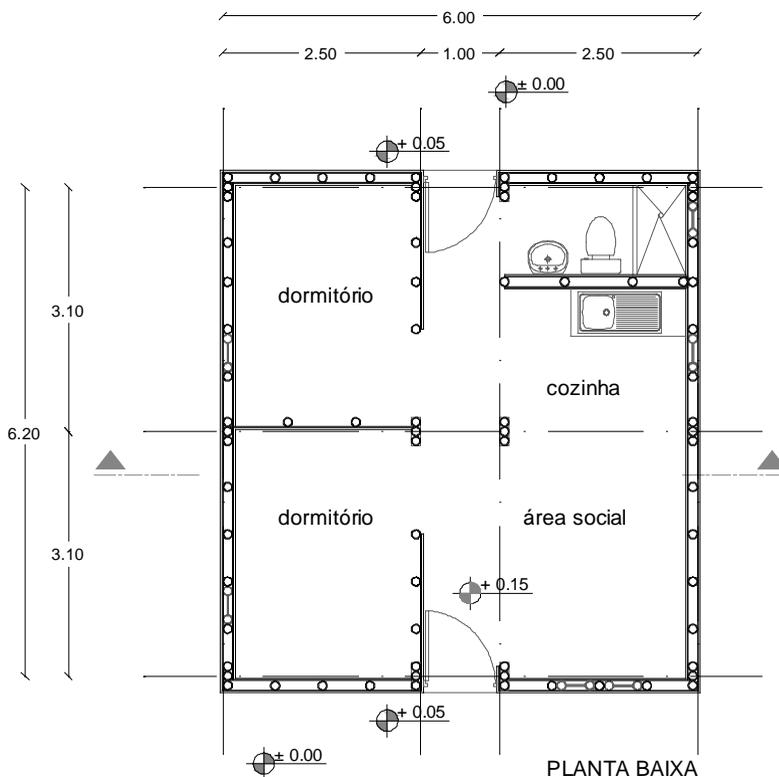


Figura 39 – Planta da habitação

⁵ Ver capítulo de métodos de preservação do bambu. Na página 47 deste trabalho.

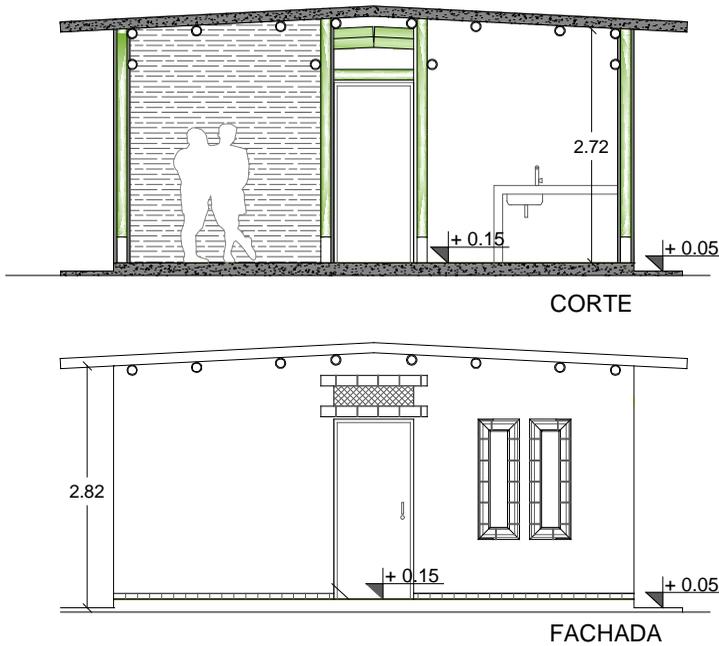


Figura 40 – Fachada frontal e corte da habitação

4.2.1 Fundações

O tipo de fundação dependerá do tipo de solo encontrado no lugar da implantação da casa. Porém, para o sistema construtivo desenvolvido neste trabalho, são propostas duas opções, mostrando a possibilidade de adaptação do sistema tanto com uma fundação corrida quanto com uma isolada.

A primeira é uma fundação de tipo radier, uma laje continua de concreto armado de 15 cm de altura; deve ser concretada com as tubulações para as instalações de água, esgoto e elétricas prontas.

Para evitar o contato da estrutura de bambu com o chão, nos pontos que as colunas estruturais de bambu estarão apoiadas, é preciso fazer umas bases de concreto de 20 cm de altura com barras roscadas de aço chumbadas nos lugares que serão posicionados os bambus, saindo 35 cm acima do concreto. (Figura 41)

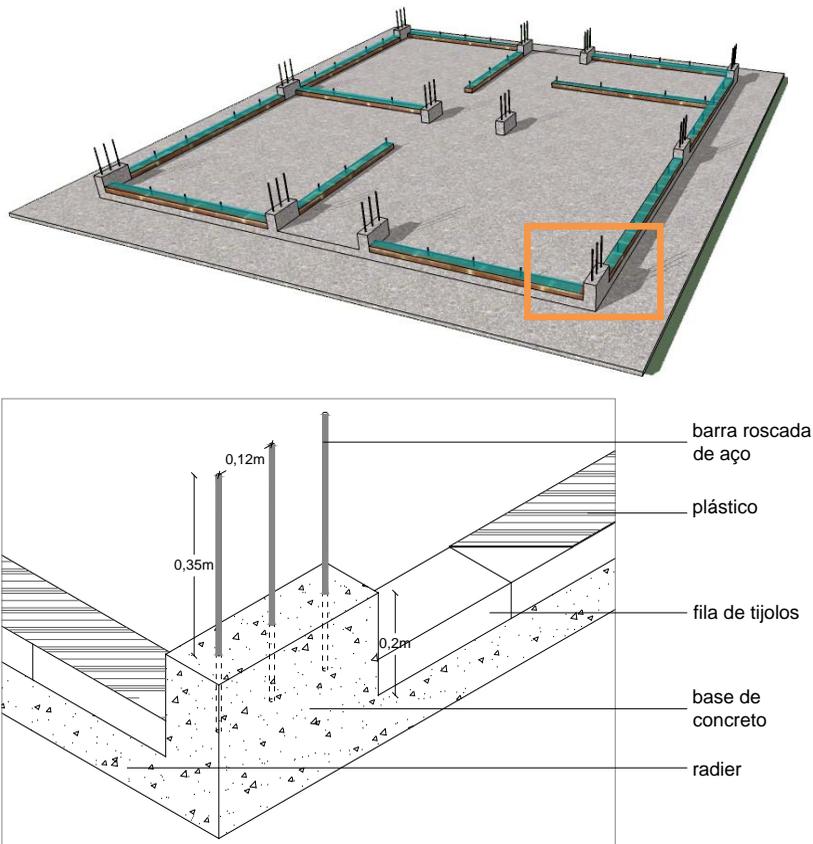


Figura 41 – Fundação tipo radier e detalhe

Na base das paredes deve colocar-se uma fila de tijolos com um plástico em cima para evitar a ascensão da umidade até o bambu.

É preciso também deixar aí chumbadas varas de aço nos lugares que estarão colocados os bambus que sustentam a vedação vertical para garantir sua fixação, nesse caso as varas não precisam ser roscaçadas e só necessitam sair 10cm sobre os tijolos.

A segunda opção é composta por bases isoladas de concreto (sapatas) para receber as cargas das colunas e transmiti-las para o chão. Na parte superior desses elementos estarão apoiadas as colunas dos módulos estruturais e as vigas que suportarão a laje de piso da habitação.

Da mesma maneira que no caso anterior é preciso deixar umas barras de aço chumbadas nelas para a posterior fixação dos elementos estruturais de bambu. (Figura 42)

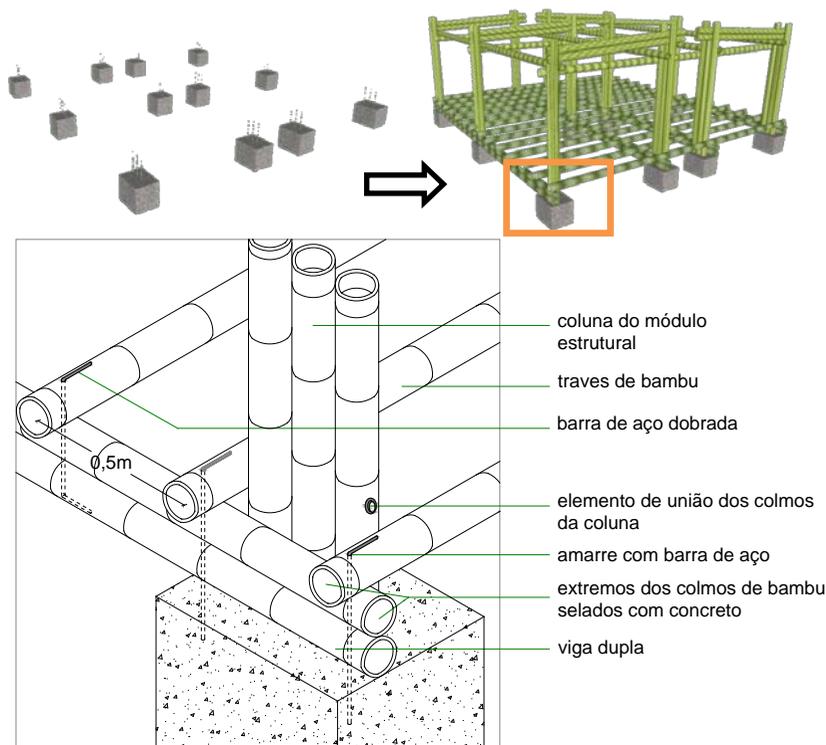


Figura 42 – Fundações isoladas e detalhe

O detalhe da laje de piso proposta para a habitação com fundações isoladas é indicado na Figura 43.

É uma laje tomada de Hidalgo (2003) de pouca espessura na qual o concreto é colocado com uma malha metálica, do tipo tela de arame, sobre as esteiras de bambu previamente fixadas aos colmos horizontais de sustentação.

Como acabamento para esta opção, coloca-se piso de cerâmica sobre a laje de concreto.

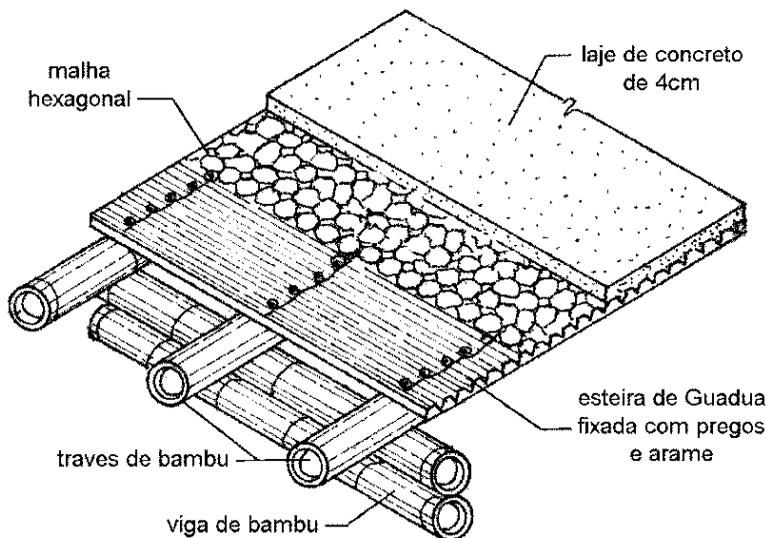


Figura 43 – Laje de piso para opção de fundações isoladas
 Fonte: traduzido de Hidalgo (2003)

4.2.2 Estrutura

Os bambus usados para a estrutura da habitação devem ser os de maior diâmetro, ou seja, aqueles que provêm das bases dos colmos. Devido ao uso de uma cobertura mais pesada na proposta, foi preciso mudar os módulos estruturais e reforçar as uniões.

A estrutura está constituída por pórticos modulares que podem ser previamente montados no mesmo lugar da construção, inicialmente estão formados por seis bambus unidos por meio de parafusos, quatro dos bambus trabalham como colunas e os dois restantes juntos formam uma viga composta. (Figura 44)

Antes da montagem dos módulos, o primeiro internó da parte inferior de cada peça vertical deve ser furado com serra-copo e na parte interna deve ser aplicado Sikadur-32 gel misturado com um pouco de areia. Isto vai ajudar a aderência do bambu com o concreto, permitindo um melhor desempenho da estrutura.

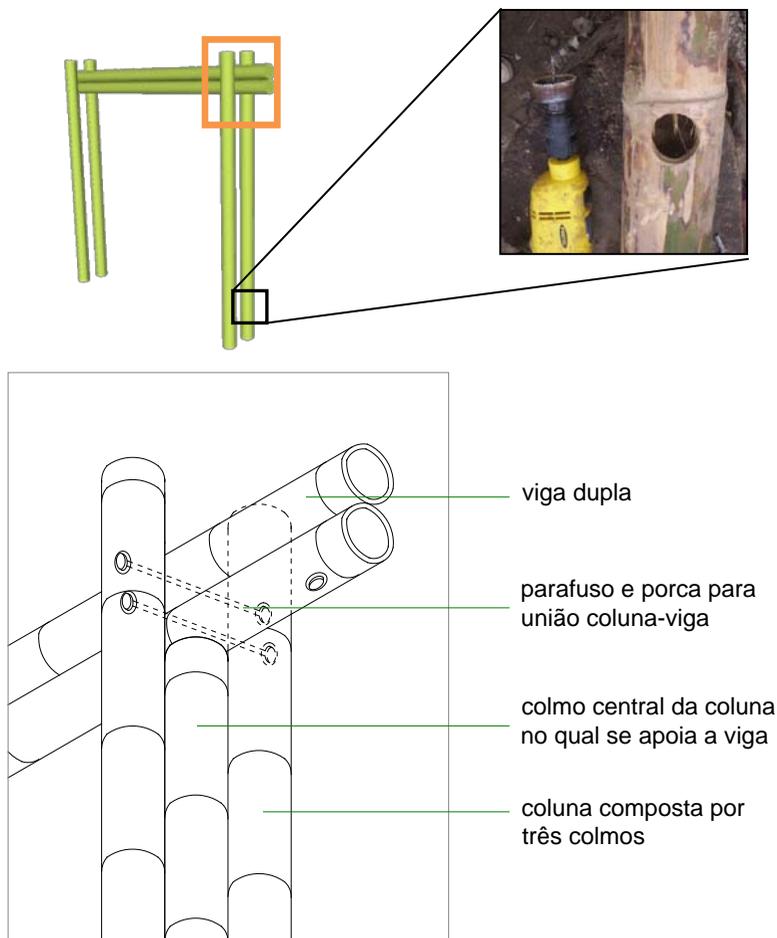


Figura 44 – Módulo estrutural de bambu e detalhe da base das colunas

Depois estes pórticos são colocados sobre as fundações para sua posterior fixação. As bases dos colmos de *Guadua* devem ser encaixadas nas varas de aço que saem do concreto.

Como mostra a Figura 45, embaixo de cada viga composta e no meio das duas colunas situadas em cada lado do módulo estrutural, será posicionada outra coluna de bambu, que cumpre duas funções: permitir o trabalho em conjunto da coluna composta e apoiar na transmissão da carga que provém da viga para o chão.

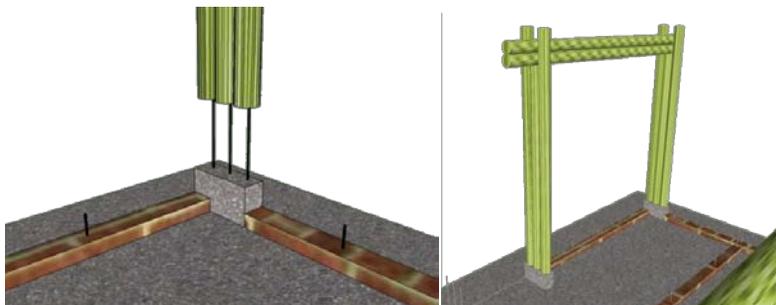


Figura 45 – Encaixe das colunas com a fundação e módulo estrutural com coluna de reforço

O seguinte passo é colocar os elementos de amarração dos pórticos tal como está indicado na Figura 46. Estes colmos de bambu também devem ser fixados à estrutura por meio de parafusos. Todo entrenó destes elementos que esteja parafusado com outros componentes estruturais precisa ser preenchido com argamassa.

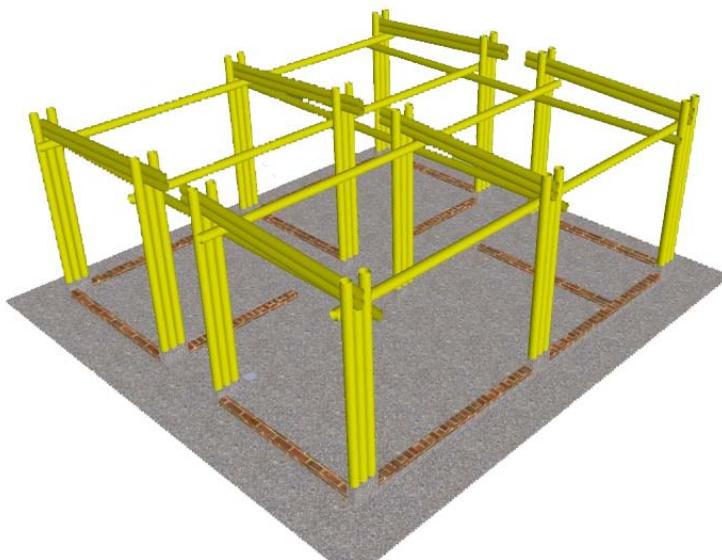


Figura 46– Módulos estruturais com vigas de amarração

Como princípio geral do sistema construtivo, o entrenó da base de todo bambu vertical que esteja em contato com as fundações, deve ser encaixado nas esperas de aço e preenchido com argamassa. Mas só será aplicado Sikadur 32 gel nas bases das colunas que formam os módulos

estruturais de bambu e não nos colmos verticais que sustentam as paredes.

4.2.3 Paredes

O primeiro passo na colocação das paredes é posicionar os colmos verticais de bambu para sua sustentação, devem ser fixados na parte inferior com as varas de aço. Os mesmos devem ser fixados também na parte superior através de parafusos nas vigas duplas (fachada frontal e posterior) e nas vigas simples de amarração (fachadas laterais), deixando 10 cm para o apoio posterior da estrutura da cobertura. (Figura 47)

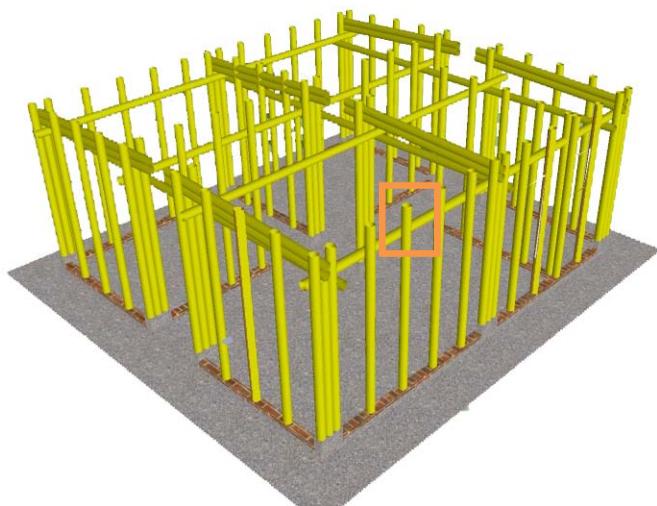


Figura 47 – Colmos de sustentação das paredes

Colocar as traves de bambu que sustentarão a cobertura, junto aos colmos verticais de bambu e apoiadas nas vigas duplas das fachadas frontal e posterior por meio de parafusos. (Figura 48)

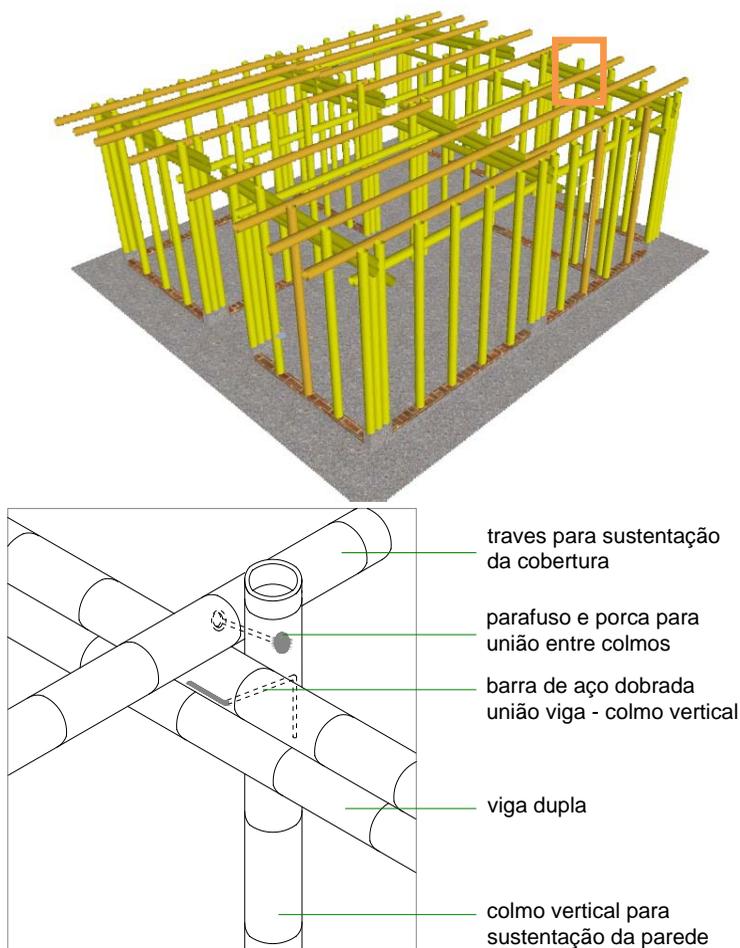


Figura 48 – Traves de bambu para apoio da cobertura

Antes da colocação das esteiras é preciso verificar se a parte interior mais mole do colmo foi retirada. Depois se colocam as esteiras de bambu pregadas em ambos lados dos elementos verticais, com a parte dura do bambu voltada para o colmo. Para pregar as esteiras utiliza-se arame galvanizado # 18 e pregos.

Considerando a preferência dos usuários pelo acabamento liso das paredes, na proposta construtiva serão rebocados ambos os lados das paredes duplas perimetrais da casa. E, posto que a parede praticamente será duplicada, será deixada uma câmara de ar no meio para melhorar o desempenho térmico das fachadas. (Figura 49)

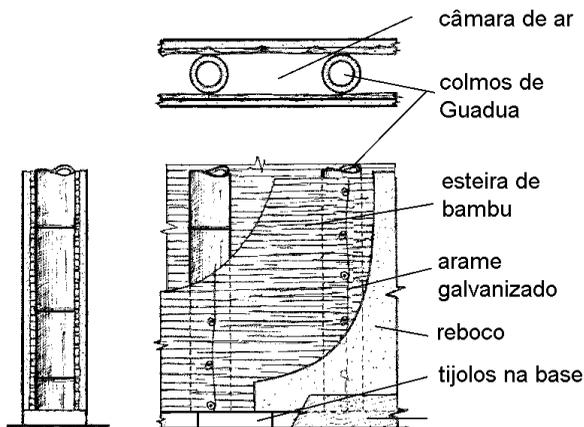


Figura 49 – Detalhe de parede
Fonte: adaptado de Hidalgo (2003)

Finalmente se faz o reboco das esteiras, no qual serão colocadas duas camadas de argamassa: a primeira com cimento, cal e areia (1:1:3) e, depois de 8 dias, a segunda camada de cimento e areia (1:3). Durante o processo é preciso hidratar ambas camadas continuamente para evitar rachaduras durante a cura do concreto. (Figura 50)



Figura 50 – Habitação com as paredes rebocadas

Nas paredes internas de divisão, as esteiras de bambu podem ser colocadas somente de um lado os bambus verticais aparentes e os colmos deixando um lado das esteiras à vista, tendo em conta que o reboco deve ser colocado sempre no lado interno do bambu.

As instalações de água potável e elétricas são colocadas ao interior de paredes duplas, entre as esteiras de *Guadua*, ou seja, antes de fixar as esteiras, como apresenta a Figura 51

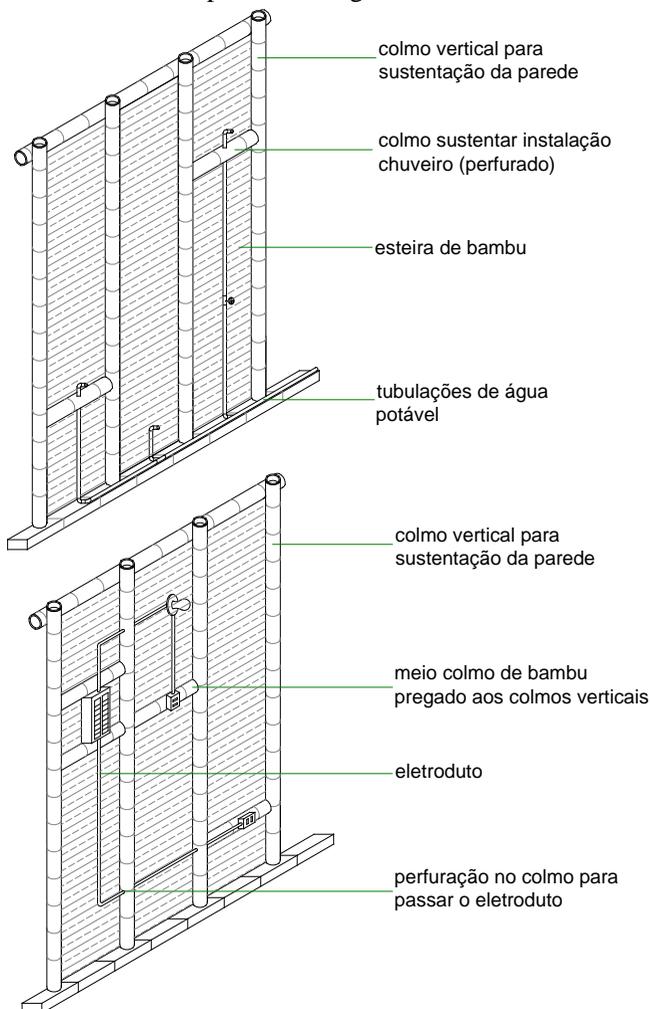


Figura 51 – Detalhe de instalações de água potável e elétricas
Fonte: Adaptado de Poppens e Morán (2005)

4.2.4 Cobertura

Os critérios para propor a cobertura foram: utilizar bambu *Guadua*, melhorar o conforto térmico da habitação, facilitar a montagem e possibilitar a aplicação tanto em lajes planas quanto inclinadas.

A cobertura é uma adaptação dos painéis estudados por Ghavami (2004) e por Chavez (2008). Ambos autores afirmam que é uma aplicação eficiente para o material.

Os painéis são lajes concretadas sobre formas permanentes feitas com meios colmos de bambu. Podem ser aplicados em coberturas planas ou inclinadas, permitindo vãos de 3 a 4 metros entre os apoios.

As dimensões de cada painel são 0,06 m x 3,60 m x 0,60 m e seu peso aproximado é de 229 kg.

Para sua fabricação é necessário dividir pela metade os colmos de bambu no sentido axial e também aprontar tiras provenientes dos colmos de bambu para reforço estrutural.

Para sua fabricação é preciso preparar uma forma de madeira com as dimensões internas adequadas para cada caso. As formas podem ser colocadas diretamente sobre o chão, num lugar plano. (Figura 52)



Figura 52 – Forma para fabricação de painel de laje

O seguinte passo é posicionar as metades dos colmos de bambu dentro da forma.

A função dos meios colmos é trabalhar como barras de reforço submetidas à tração e como forma permanente da laje.

Em cima das metades dos colmos colocam-se tiras de bambu tratadas com Sikadur 32 gel cada 30 cm, como é mostrado na Figura 53.

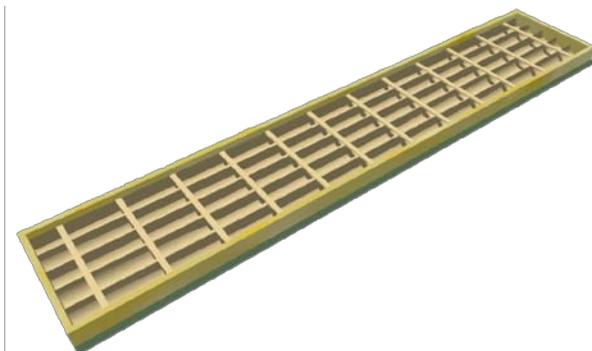


Figura 53 – Colocação do Bambu para fabricar o painel de laje

Coloca-se o concreto leve de densidade 1800kg/m^3 acima dos meios colmos do painel e realiza-se a regularização da superfície. (Figura 54)

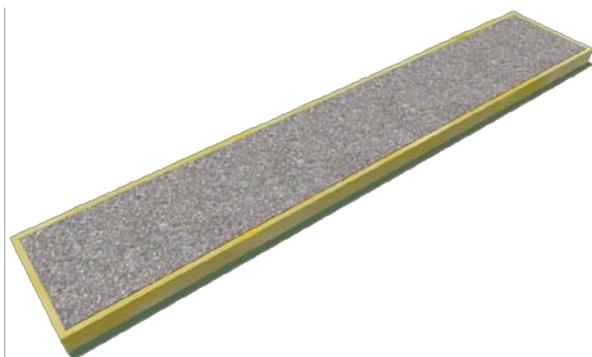


Figura 54 – Concretagem do painel de laje

O painel deve ser coberto com um plástico de cor clara para permitir a cura do concreto. A forma de madeira pode ser tirada depois de 48 horas, permitindo sua reutilização para a fabricação de outras lajes.

Uma vez prontas as lajes, sua fixação à estrutura é feita por meio de parafusos. (Figura 55)

Finalmente aplica-se uma capa superior de concreto e impermeabilizante para selar as uniões entre painéis da cobertura.

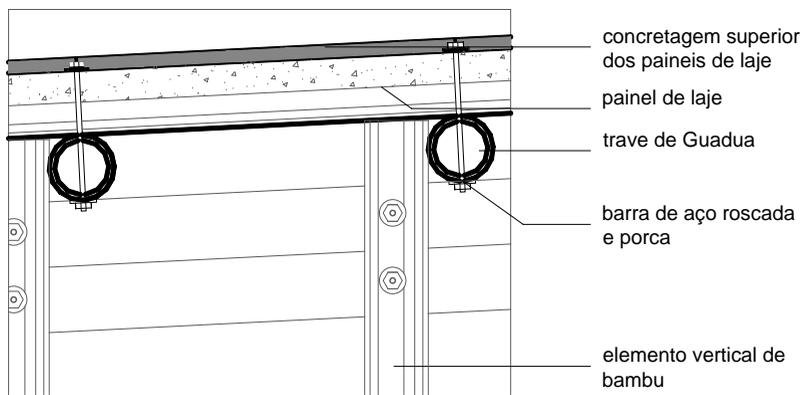


Figura 55 – Detalhe para fixação do painel de cobertura à estrutura

A Figura 56 apresenta uma perspectiva da casa com a cobertura, na parte inferior o bambu fica à vista. É preciso colocar uma tabueira nas partes laterais que ficam expostas e rebocar para evitar o contato do bambu com a umidade ou as pontas dos bambus.



Figura 56 – Perspectiva da habitação com cobertura

4.2.5 Janelas

As portas e janelas são elementos que variam dependendo das preferências dos usuários, por esse motivo o sistema construtivo permite a fixação de qualquer tipo de portas e janelas do mesmo jeito que qualquer construção de alvenaria convencional, só é preciso prever o

acabamento necessário no momento de rebocar as paredes, deixando a superfície pronta.

No entanto, como complemento da proposta construtiva, neste trabalho propõe-se uma janela pivotante elaborada com perfis de bambu *Guadua*. (Figura 57)

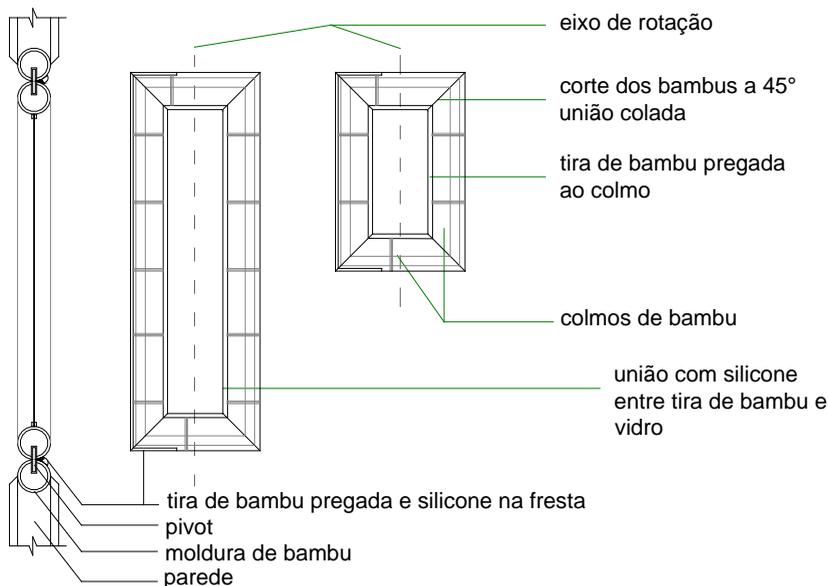


Figura 57 – Detalhe de janela

4.3 POSSIBILIDADE DE APLIAÇÃO

O sistema construtivo permite a possibilidade de ampliação por meio da repetição dos módulos estruturais que podem ser conectados com a estrutura da construção inicial por meio de parafusos.

A Figura 58 indica a maneira de conectar a estrutura antiga, que está em cor verde, com a estrutura da ampliação, que está em cor amarela.

Uma vez realizada a ligação do módulo estrutural, a ampliação pode ser desenvolvida seguindo os mesmos passos da técnica explicada no processo construtivo.

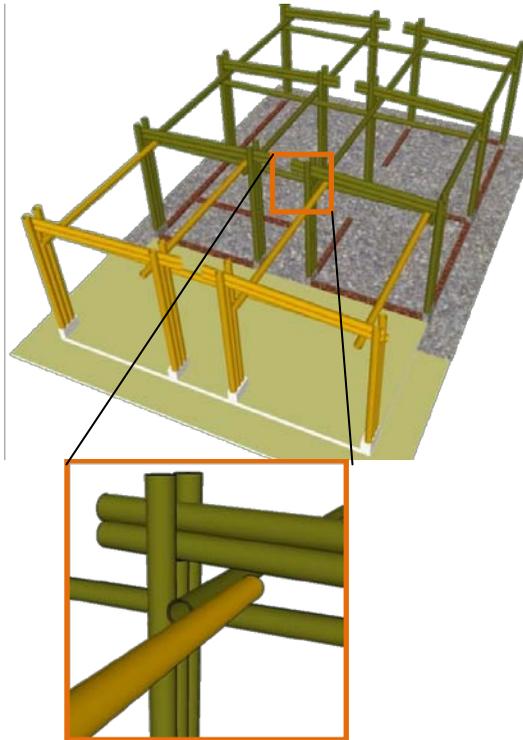


Figura 58 – Ampliação da casa por meio da repetição do módulo estrutural de bambu

4.4 CUSTO

Neste capítulo faz-se uma análise do custo dos materiais da proposta. Para isto foi usado como insumo o orçamento dos materiais da casa avaliada no estudo de caso, proporcionado por Esteban Torres. (Anexo A).

Foi elaborado um orçamento da proposta construtiva (Anexo B), usando os mesmos preços dos materiais da casa analisada no estudo de caso, ou seja, usando o preço dos materiais de construção em 2008, com a finalidade de fazer uma comparação de custos entre ambas as opções.

No Quadro 5 apresenta-se o resumo dos custos de cada subsistema construtivo e do custo total de cada casa.

Quadro 5 - Custo da proposta construtiva

<i>Subsistema ou elemento</i>	Casa do Estudo de Caso		Nova proposta construtiva	
	<i>Custo em dólares</i>	<i>% do total</i>	<i>Custo em dólares</i>	<i>% do total</i>
Preservação do bambu	66,98	3,12	133,96	3,54
Fundações	485,80	22,62	488,25 e 445,33*	11,77
Estrutura	141,80	6,60	364,01	9,62
Paredes	506,81	23,60	1261,33	33,33
Cobertura	314	14,62	847,292	22,39
Instalações	436,43	20,32	496,43	13,12
Janelas e portas	195,48	9,10	235,92	6,26
TOTAL	2147,3	100	3827,19 e 3784,28*	100
* A variação nesse custo corresponde às opções de fundação 1 e 2 da proposta construtiva desenvolvida neste capítulo do trabalho.				

Os valores apresentados no Quadro 5 demonstram o incremento do custo dos materiais da casa em 70%. Neste ponto é preciso destacar o custo-benefício, posto que esse aumento corresponde às importantes melhorias qualitativas, desenvolvidas para a proposta construtiva e analisada no seguinte capítulo.

Dividindo o custo total da proposta construtiva para os 40m² que correspondem à área da casa, se obtém o valor de 96 dólares por metro quadrado somente em materiais de construção.

Os custos que mais variaram entre a casa do estudo de caso e da proposta construtiva foram a estrutura, as paredes, a cobertura e a preservação do bambu, aumentando mais do dobro no valor. Fazendo uma análise mais específica desses subsistemas, observou-se que tanto na estrutura quanto na cobertura, quase 50% do preço corresponde ao cimento e aço usados.

Na estrutura da proposta construtiva usa-se mais concreto para reforçar todas as uniões parafusadas entre os colmos de bambu, enquanto na casa do estudo de caso só foi usado concreto para a união das bases das colunas com as fundações.

A cobertura da proposta usa concreto leve e bambu em lajes pré-fabricadas, fixadas à estrutura por meio de parafusos, enquanto a cobertura do estudo de caso era de lâminas de aço de 2,5 mm de espessura.

A terceira parte do custo total dos materiais da casa corresponde às paredes. A decisão de deixar liso o acabamento interior, praticamente duplicou a área de esteiras de bambu rebocadas e, conseqüentemente, a quantidade de cimento usado. Só esse material de construção representa 50% do custo do material das paredes da casa.

Para futuras pesquisas poderia ser explorada a opção de uso de terra em lugar de concreto, como uma escolha para uma proposta econômica e ecologicamente mais sustentável.

O uso de mais bambu tanto para as paredes quanto para a estrutura e cobertura ocasionou também o aumento do custo dos insumos para a preservação do material.

O único subsistema que diminuiu o custo na proposta foi o das fundações na opção 2, que tem apoios isolados de concreto, estrutura de bambu roliço reforçada e laje de concreto de 4 cm apoiada em esteiras de bambu.

4.4.1 Comparação de custo com uma habitação construída com alvenaria convencional

Em 2008 o custo do m² de uma casa de interesse social de alvenaria convencional no Equador foi aproximadamente de 250 dólares⁶, considerando que ao redor de 30% desse valor corresponde a mão de obra e equipes, pode-se dizer que o 70% restante seria o custo dos materiais, resultando em 175 dólares.

Comparando o custo do m² dos materiais de construção da proposta do presente estudo (96 dólares /m²) com esse valor, da uma diferença é de aproximadamente 80%.

⁶ Segundo Edgar Menéndez, presidente do Colegio de Ingenieros Civis do em <http://www.eldiario.com.ec/noticias-manabi-ecuador/74511-presion-internacional-eleva-derivados-de-hierro-y-acero/> (consultado em 02/2012)

Portanto, pode-se concluir que a casa de bambu apresenta uma vantagem em custo em relação à de alvenaria convencional, fator importante a ser considerado nas HIS.

5 ANÁLISE DE DESEMPENHO

Como mecanismo de verificação das melhorias propostas no sistema construtivo, se utilizaram as recomendações da Norma Brasileira de desempenho para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos NBR 15575:2008.

Cada item da norma apresenta uma maior ou menor relação com o sistema construtivo adotado. Na continuação apresenta-se a descrição, análise e alguns resultados do atendimento dessas exigências com foco na proposta técnico-construtiva deste trabalho.

5.1 EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA

5.1.1 Segurança estrutural

Por questões de simplificação do processo construtivo, na proposta todos os colmos de bambu têm corte reto, se deve considerar que o corte de bambu deve ser realizado de modo que cada peça estrutural comece e acabe com um nó.

Este tipo de corte facilita o trabalho no canteiro, sem ter que desenvolver encaixes entre os colmos de bambu. Este é um fator que poderia ocasionar o aumento do tempo de construção.

Considerando a limitada resistência ao cisalhamento paralelo às fibras dos colmos de bambu, na proposta todas as uniões são parafusadas com elementos metálicos que tenham um tratamento anti-corrosivo, isto é, serem galvanizados.

A união da base das colunas de *Guadua* com os elementos da fundação de concreto é feita por meio de barras roscadas de aço chumbadas na laje e com uma porca na ponta que será fixada no colmo (Figura 59). As barras devem sair no mínimo 35 cm da superfície do concreto para o posicionamento dos colmos de bambu; posteriormente os entrenós atravessados pela espera devem ser preenchidos com argamassa em proporção 1:3, conforme recomenda a norma colombiana NSR-10.

Para melhorar a aderência do concreto com o bambu, deve ser aplicado Sikadur-32 gel junto com areia no interior dos entrenós na base das colunas de bambu que recebem argamassa para fixação com as fundações.

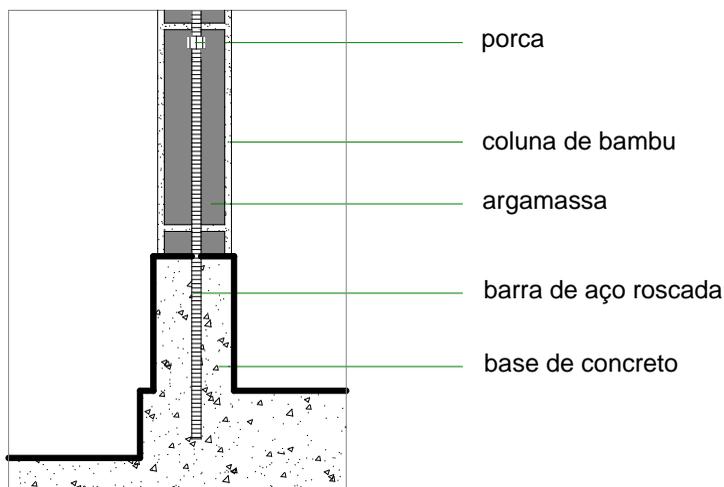


Figura 59 - Detalhe união coluna de bambu com fundações

Na proposta construtiva desenvolvida neste trabalho, as cargas provenientes das vigas que sustentam o teto são transmitidas para colunas compostas por três colmos de bambu e, como reforço, todos os entrenós dos elementos verticais que são parte dessas uniões devem ser preenchidos com argamassa de concreto, proporção 1:3.

As colunas conformadas por mais de um *Guadua* devem estar conectadas entre si por elementos metálicos que garantam a unidade estrutural. (Figura 60)

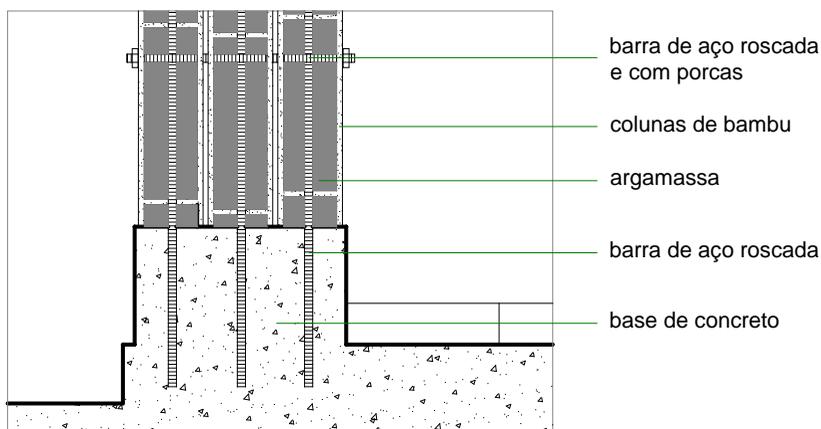


Figura 60 - Detalhe união de bambus em coluna composta

5.1.2 Segurança contra o fogo

Como medida preventiva para retardar a propagação do fogo em caso de incêndio, propõe-se a aplicação de Rec-cel (uma resina celulósica) no bambu; é um recobrimento celulósico que possui características ignífugas, foi desenvolvido recentemente por pesquisadores da *Universidad Católica Santiago de Guayaquil*, precisamente para ser usado no *Guadua*.

É um produto econômico e que pode ser elaborado in-loco com o uso de materiais reciclados e aplicado principalmente nas paredes e estrutura de bambu e outros componentes construtivos como forros.

5.1.2 Segurança no uso e na manutenção

O projeto não possui elementos que possam por em risco a segurança dos ocupantes: não existem no projeto irregularidades nos pisos ou degraus que possam ocasionar quedas, nem existem partes expostas que sejam cortantes ou perfurantes.

A vedação da proposta construtiva, feita de esteiras rebocadas, não está projetada para suportar cargas de elementos pendurados em pregos. Portanto, como medida de segurança é preciso indicar aos usuários que os pregos devem ser colocados nos lugares que existem colmos de bambu dentro das paredes duplas.

Depois da construção, é preciso entregar ao usuário um manual de procedimentos que contenha este tipo de recomendações de uso e manutenção.

5.2 EXIGÊNCIAS DE HABITABILIDADE

5.2.1 Estanqueidade

Para proteção da umidade trazida por capilaridade e chuvas, no projeto foram desenvolvidos vários detalhes arquitetônicos, que irão evitar o contato da água com o bambu, que evitaria a deterioração e falhas estruturais na edificação.

As fundações têm um papel fundamental para distanciar as peças de bambu, que conformam a estrutura, da umidade proveniente do solo. Para garantir a proteção das colunas de bambu, elas estão colocadas sobre umas bases de concreto sobre a laje, e sob as paredes está colocada uma base de tijolos sobre a qual serão fixados os colmos

de bambu que sustentam o sistema de vedação vertical. (Figura 61). É importante colocar um plástico sobre os tijolos antes de fixar as colunas de bambu, para evitar a ascensão da umidade.

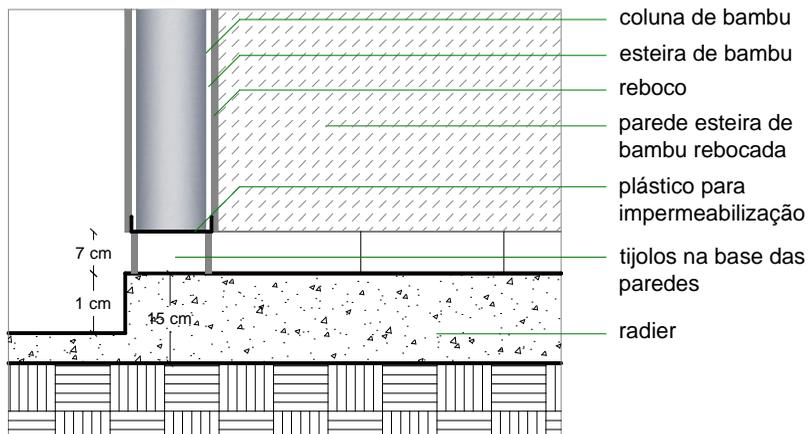


Figura 61 - Detalhe bases de concreto e tijolo para proteção contra a umidade

As fachadas estarão rebocadas completamente impedindo a exposição direta do bambu à irradiação solar; os beirais da cobertura protegem as fachadas das chuvas e cobrem também os bambus que a sustentam.

5.2.2 Desempenho térmico

A ABNT NBR 15575 estabelece que a habitação deva possuir características que atendam às exigências de desempenho térmico, que depende do comportamento interativo entre fachada, cobertura e piso.

Para esta análise será aplicado o procedimento simplificado de avaliação de desempenho térmico de paredes e cobertura, estabelecido nas partes 4 e 5 da referida norma.

Posteriormente será feita uma relação entre o clima da cidade do estudo de caso no Equador com a zona climática do Brasil que corresponda para estabelecer a viabilidade térmica.

Antes de desenvolver os cálculos é preciso citar algumas definições da referida norma:

Transmitância térmica – U ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$): é o inverso da resistência térmica total.

Resistência térmica total – RT ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$): somatória do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa.

Resistência térmica de elementos e componentes – Rt ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$): quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento construtivo pela densidade de fluxo de calor.

Capacidade Térmica – CT ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$): quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema.

Absortância à radiação solar – α : quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta superfície. A ABNT NBR 15220⁷ (2005) indica este valor para alguns materiais.

Desempenho térmico das paredes

A análise de desempenho térmico das paredes foi realizada conforme os procedimentos apresentados na norma brasileira NBR 15220. Para os cálculos foi assumido um modelo simplificado das camadas de materiais como se observa na Figura 62.

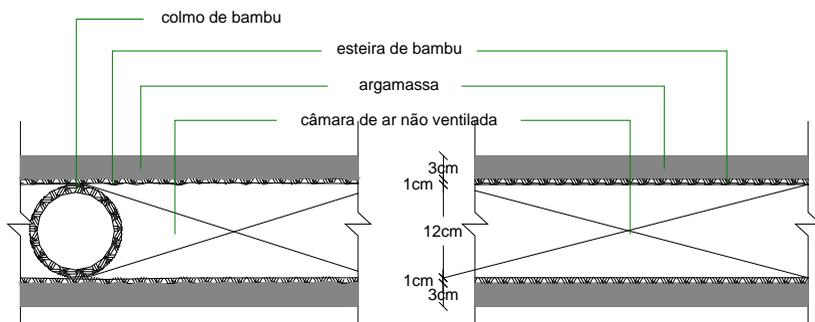


Figura 62- Detalhe de parede (esq.) modelo simplificado (dir.) adotado para avaliação de desempenho

Os dados da densidade, condutividade e calor específico do bambu variam dependendo do lugar de procedência do *Guadua*, da parte

⁷ Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma de desempenho térmico de edificações

do colmo e do seu conteúdo de umidade; no entanto, para desenvolver os cálculos necessários para este trabalho, serão adotados os valores indicados no Quadro 6.

Quadro 6: Densidade, condutividade e calor específico dos materiais

DADOS DOS MATERIAIS	FONTE	LEGENDA
Argamassa (arg)		ρ = densidade λ = condutividade c = calor específico
$\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$	NBR 15220	
$\lambda = 1,15 \text{ W/m}^2.\text{K}$		
$c = 1 \text{ kJ/kg.K}$		
Bambu <i>Guadua</i> (bmb)		
$\rho = 624 \text{ kg/m}^3$	González, Hellwig e Montoya (2008). O dado corresponde à média dos valores mostrados pelos autores.	
$\lambda = 0,0975 \text{ W/m}^2.\text{K}$	Vega e Saldarriaga (2005). O dado corresponde à média dos valores máximo e mínimo indicados na fonte.	
$c = 1,27 \text{ kJ/kg.K}$		

Resistência Térmica – Rt

$$R_t = e_{\text{arg}} / \lambda_{\text{arg}} + R_{\text{ar}} + e_{\text{bmb}} / \lambda_{\text{bmb}}$$

$$R_t = 0,06/1,15 + 0,17 + 0,014/0,0975$$

$$R_t = 0,0522 + 0,17 + 0,1436$$

$$R_t = 0,3658 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Resistência Térmica Total – RT

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$$

$$R_T = 0,13 + 0,3658 + 0,04$$

$$R_T = 0,5358 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Transmitância Térmica – U

$$U = 1/RT$$

$$U = 1/0,5358$$

$$U = \mathbf{1,866 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Capacidade Térmica – C

$$CT = \sum e.c.\rho$$

$$CT = e_{arg.} \text{ Carg. } \rho_{arg} + A_r + e_{mb.} \text{ C}_{mb.} \rho_{mb.}$$

$$CT = (0,06)(1)(2000) + 0 + (0,014)(1,27)(624)$$

$$CT = 120 + 11,095$$

$$CT = \mathbf{131,095 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Resultados de desempenho térmico das paredes

A NBR 15220 -3 define um zoneamento bioclimático do Brasil que depende das condições ambientais de cada lugar e sua influencia nos ambientes construídos; dessa maneira divide o território em oito zonas conforme indica a Figura 63.

Para avaliar os resultados é preciso verificar a adequação do sistema construtivo às condições da zona bioclimática do Brasil que corresponda ao lugar de implantação do projeto.

No caso da proposta construtiva desenvolvida neste trabalho, o projeto estaria localizado na cidade de *Santo Domingo de los Tsáchilas* no Equador.

É uma cidade que possui clima tropical úmido, com uma temperatura média de 23° C, umidade relativa do ar 91% e precipitação anual de 3200 mm⁸.

Essas condições climáticas são similares às da Zona 8 da classificação bioclimática do Brasil, dentro da qual estão cidades como Belém, Fortaleza, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, Maceió, Manaus.

⁸ Em <http://www.santodomingo.gob.ec> (consultado em 04/2012)



Figura 63 - Zoneamento bioclimático brasileiro

Fonte: NBR 15220 -3

As vedações verticais externas da edificação devem possuir transmitância e capacidade térmica que proporcionem pelo menos o desempenho mínimo estabelecido nos Quadros 7 e 8 para a zona bioclimática 8:

Quadro 7 - Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância térmica U W/m²K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Fonte: ABNT NBR 15575-4

Quadro 8 - Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade Térmica (CT) kJ/m ² K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	CT ≥ 130

Fonte: ABNT NBR 15575-4

O valor da transmitância térmica das paredes obtido nos cálculos foi $U = 1,866 \text{ W/m}^2\text{K}$, portanto se demonstra que a vedação apresenta um desempenho adequado não só para a zona 8, mas também para todas as outras zonas bioclimáticas.

A capacidade térmica obtida foi $CT = 131,095 \text{ W/m}^2\text{K}$, que indica a adequação térmica da vedação para a zona 8 e todas as outras regiões.

É preciso anotar que a maior densidade do bambu é uma variável que influencia diretamente nesse resultado, portanto, recomenda-se que as esteiras de *Guadua* usadas para as paredes, sejam elaboradas de preferência com a parte superior dos colmos, que apresenta menor diâmetro e maior densidade.

Desempenho térmico do sistema de cobertura

A análise de desempenho térmico da cobertura foi realizada conforme os procedimentos apresentados na norma brasileira NBR 15220. Para os cálculos utilizou-se um modelo simplificado das camadas de materiais como se observa na Figura 64:

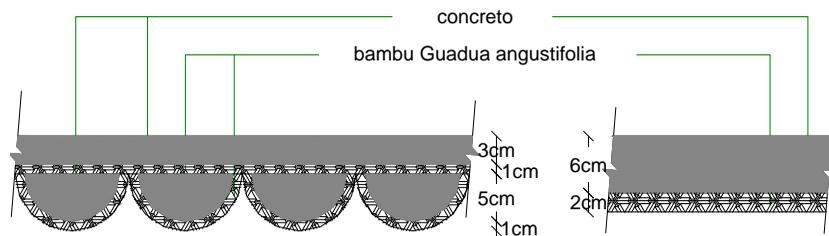


Figura 64 - Detalhe de painel de laje modelo simplificado adotado para avaliação de desempenho

Nos cálculos necessários para avaliar o desempenho do sistema de cobertura, serão adotados os mesmos valores de densidade, condutividade e calor específico usados na avaliação das vedações, mas

variando o valor da densidade da argamassa para 1800 kg/m^3 , com uma condutividade $\lambda_{\text{arg}} = 1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$, indicada na norma.

Resistência Térmica – Rt

$$R_t = e_{\text{arg}} / \lambda_{\text{arg}} + e_{\text{bmb}} / \lambda_{\text{bmb}}$$

$$R_t = 0,065 / 1,40 + 0,02 / 0,0975$$

$$R_t = 0,046 + 0,20513$$

$$R_t = 0,252 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Resistência Térmica Total – RT

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$$

$$R_T = 0,17 + 0,252 + 0,04$$

$$R_T = 0,462 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Transmitância Térmica – U

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,462$$

$$U = \mathbf{2,16 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

Resultados de desempenho térmico da cobertura

A cobertura deve apresentar transmitância térmica e absorptância à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para a zona bioclimática 8. Para tal, os valores máximos admissíveis estão apresentados no Quadro 9:

Quadro 9 - Transmitância térmica de coberturas

Transmitância térmica U W/m ² K				
Zonas 1 e 2	Zonas 3 a 6		Zonas 7 e 8	
U ≤ 2,3	α ≤ 0,6	α > 0,6	α ≤ 0,4	α > 0,4
	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5	U ≤ 2,3	U ≤ 1,5

α é absorptância à radiação solar da superfície externa da cobertura.

Fonte: ABNT NBR 15575

O valor da transmitância térmica da cobertura obtido nos cálculos foi $U = 2,16 \text{ W/ m}^2\text{K}$, é um valor admissível para a zona 8 considerando que o valor da absorvância à radiação solar seja menor que 0,6; para isto, é preciso utilizar como acabamento externo uma pintura de cor branca ($\alpha=0,2$), amarela ($\alpha = 0,3$) ou verde clara ($\alpha = 0,4$).

5.2.3 Desempenho acústico

O sistema construtivo proposto prevê a possibilidade de construir as paredes tanto externas quanto internas da habitação sem deixar frestas na parte superior, proporcionando privacidade entre os espaços internos e em relação ao exterior da casa; reduzindo também o ruído proveniente do entorno.

As aberturas das fachadas para ventilação estão colocadas acima das portas, no corredor central da casa, portanto os ruídos exteriores não afetam os espaços privados da casa.

O uso de painéis de bambu e concreto proporciona um melhor isolamento acústico da habitação, no que se refere aos ruídos aéreos e por impacto na cobertura.

5.2.4 Desempenho lumínico

Cada dependência da casa recebe iluminação natural durante o dia, em cada espaço está localizada uma janela que também proporciona ventilação.

Dentro da proposta técnico-construtiva foi desenvolvida uma opção de janela feita com os colmos de bambu e vidro; que permitisse iluminar os espaços mesmo quando as janelas estivessem fechadas, evidenciando a possibilidade de aplicação do *Guadua* para esse fim.

5.2.5 Saúde, higiene e qualidade do ar

A proposta construtiva proporciona condições de salubridade para os usuários e a disposição dos elementos construtivos permite uma fácil limpeza e manutenção.

As aberturas para ventilação localizadas na fachada frontal e posterior, assim como as janelas em todos os espaços da habitação permitem a circulação contínua do ar.

5.2.6 Funcionalidade e acessibilidade

Pela natureza deste trabalho, a proposta construtiva não aprofundou na resolução de questões funcionais e de acessibilidade da habitação.

No entanto, a técnica construtiva proposta proporciona a possibilidade de organizar os espaços da forma mais adequada para o desenvolvimento das atividades dos ocupantes dependendo das suas necessidades.

Apresenta também a possibilidade de realizar ampliações caso o usuário precise de mais espaços.

5.2.7 Conforto tátil e antropodinâmico

A disposição dos elementos que constituem os diferentes subsistemas construtivos da proposta permite o desenvolvimento das atividades normais dos usuários: caminhar, limpar, brincar, abrir portas e janelas, apoiar.

O sistema construtivo desenvolvido com bambu *Guadua* permite a colocação das instalações elétricas e sanitárias necessárias para o desenvolvimento normal dessas ações.

5.3 EXIGÊNCIAS DE SUSTENTABILIDADE

5.3.1 Durabilidade e manutibilidade

A NBR 15575-1 indica que a melhor forma para se determinar a vida útil de um projeto é através da pesquisa de opinião entre técnicos, usuários e agentes envolvidos com o processo de construção.

Para ter uma idéia da durabilidade do sistema construtivo proposto neste trabalho, foi consultado um profissional que trabalha em pesquisa e construção com *Guadua* no Equador.

Morán (2011) indica que a construção mais antiga que ele conhece na qual foi usado bambu *Guadua* com tratamento de imersão em bórx, ácido bórico e água é a *Hostería Alandaluz*⁹, projetada e construída por Rafael Rojas, e indica que atualmente esse edifício deve ter uns 20-24 anos desde sua construção, e ainda está em uso.

⁹ Para fotografias visitar <http://www.alandaluz.com/>

No entanto, é preciso dar ênfase na manutenção que a edificação deve receber durante sua ocupação: limpeza, inspeção contínua das peças de bambu e das instalações, colocação de acabamentos como pintura e azulejos. Para isso é preciso dar um manual de uso e manutenção aos usuários com as especificações necessárias.

A constituição do sistema construtivo analisado neste trabalho proporciona facilidade de manutenção ou reparação, posto que os diferentes elementos poderiam ser revisados e/ou substituídos, caso for necessário: os colmos de bambu dos módulos estruturais, os painéis da cobertura, as esteiras de bambu nas paredes, as instalações.

Para o caso de substituição de peças estruturais, deve sempre ser chamado um profissional qualificado.

Este é um ponto que poderia ser aprofundado em futuras pesquisas: uma análise mais detalhada de custos de reposição e manutenção.

5.3.2 Adequação ambiental

Mesmo considerando que a proposta construtiva inicial é para ser implantada em áreas não inundáveis, existe a possibilidade de modificar as fundações para adaptá-la a lugares que apresentem essas condições.

O uso do bambu como principal material de construção é, por si mesmo uma escolha que reduz o impacto ecológico da construção no meio ambiente já que é um recurso natural renovável e abundante na região. Além do que, os bambuzais diminuem a erosão do solo, retêm água, regulam caudais hídricos, reduzem as temperaturas e representam carbono estocado na forma de tecido lenhoso.

A energia gasta na extração, transporte e processamento de matérias primas para sua transformação em materiais aptos para a construção, são fatores que devem ser considerados na hora de analisar a sustentabilidade ambiental de um material.

Um estudo mais específico desenvolvido por González (2005) na Colômbia comprova a hipótese de que se precisa menos recursos energéticos para a construção de uma habitação com *Guadua* do que o mesmo modelo feito com alvenaria convencional. Nessa pesquisa o autor conclui que isto responde a diminuição de uso de aço e concreto nas construções projetadas com bambu.

Mas é preciso enfatizar a necessidade de potencializar uma cultura de uso racional do *Guadua*. Com esse objetivo, no momento que o bambu seja adquirido, devem ser priorizados aqueles fornecedores que

possam comprovar a origem do material, com certificações legais que legitimem um processo de manejo dos bambuzais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível sugerir melhorias tecnológicas para um sistema de construção de habitação de interesse social com bambu, aplicadas especificamente na solução habitacional analisada no estudo de caso.

A revisão bibliográfica permitiu aprofundar o conhecimento das características do bambu *Guadua* como material de construção, a sua natureza, as vantagens e limitações que possui. Além disso, conhecer os resultados de pesquisas anteriores sobre o tema, permitindo o aproveitamento desses conhecimentos dentro deste trabalho.

Tanto a revisão bibliográfica quanto o estudo de caso permitiram fazer uma análise da aplicação do material na construção de habitação de interesse social com bambu, possibilitando a identificação dos principais erros de projeto e utilização do material nas construções; sem descuidar a situação socioeconômica do usuário.

A escolha do caso para o estudo permitiu desenvolver as propostas de melhoria do sistema construtivo com base numa metodologia de construção fácil de executar e reproduzir, ainda por mão de obra não qualificada.

A análise de desempenho da habitação permitiu ter uma visão geral sobre as exigências dos usuários em relação à qualidade da habitação; no entanto, existiram parâmetros que não puderam ser estudados profundamente (como o funcional), devido à natureza desta pesquisa.

6.1.1 Em relação à análise do projeto de HIS

A facilidade de acesso às informações do projeto analisado no estudo de caso permitiu aprofundar as questões do sistema e processo construtivo, deixando transparecer as condições nas quais a habitação precisa ser projetada: custo, disponibilidade de mão de obra não especializada, necessidade de dar um valor agregado na casa e de melhoria da qualidade exigida pelos usuários (segurança, habitabilidade e sustentabilidade).

Analisar um projeto específico permitiu limitar em tempo e foco a pesquisa, para concretamente elaborar e avaliar a proposta de melhoria. Porém, é preciso esclarecer que esse sistema construtivo pode

ser aplicado em outras habitações, desenvolvendo também aspectos funcionais e espaciais sujeitos às preferências e solicitações de cada usuário.

6.1.2 Em relação aos problemas mais comuns de deterioração do material

Por ser uma matéria prima de origem vegetal, os fatores que mais influenciam na deterioração do bambu como material de construção são: o ataque de insetos, a exposição ao sol e o contato com a umidade.

É possível combater essa deterioração por meio de tratamento preservativo do bambu, mas também considerando no projeto certos detalhes construtivos. Em ambos os casos é preciso conhecer as propriedades do bambu para entender o “porquê” de cada escolha ou decisão dentro do processo construtivo.

Considerar isso é fundamental para a transferência tecnológica e replicabilidade das boas práticas construtivas com bambu, que permitirão um maior conhecimento sobre o material.

6.1.3 Em relação às desvantagens do material e as possíveis soluções

A vulnerabilidade do material à exposição dos raios UV e à umidade, a sensibilidade ao ataque de fungos e insetos e ao fogo, podem ser resolvidas por meio de tratamento preventivo do bambu e tomando as devidas precauções na aplicação, como foi mostrado ao longo deste trabalho.

No que se refere à variação do comportamento estrutural do bambu conclui-se que muitos fatores influenciam no desempenho do mesmo, como: espécie, o lugar de plantio, a idade, o teor de umidade, e a parte do colmo utilizada. Portanto, poderia ser implantado um sistema de monitoramento em plantações destinadas à produção de bambu para a construção por meio de estudos de caracterização do material. Dessa maneira e com um bom processo de cultivo e manejo do bambuzal, o fornecedor da matéria prima poderia conhecer as características do produto para sua comercialização.

O desenvolvimento e difusão de pesquisas sobre a caracterização das espécies de bambus pode diminuir paulatinamente a dificuldade para o cálculo de estruturas. Essas mesmas pesquisas serão fundamentais para a elaboração de normas oficiais em cada lugar e

guiarão aos projetistas para a obtenção de autorizações para a construção com bambu.

A seção circular do colmo e facilidade com que pode rachar-se dificulta a execução de algumas uniões, no entanto é preciso explorar mais este campo para desenvolver novas possibilidades de união, que sejam adequadas ao formato do material. Por enquanto, em normas como a NSR 10 da Colômbia existem especificações para reforçar as uniões estruturais entre colmos de bambu *Guadua*, que podem orientar a execução desse tipo de detalhes construtivos com segurança.

O preconceito e desconhecimento do material e suas técnicas de aplicação só podem ser combatidos com pesquisa, divulgação da informação e educação. Mas o melhor jeito para difundir o bom uso do material é projetando edificações de qualidade, que satisfaçam as exigências dos usuários.

6.1.4 Em relação às recomendações de melhoria tecnológica para o método construtivo considerando o perfil econômico dos usuários.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu mostrar possibilidades de melhoria de aplicação do bambu em todos os subsistemas da habitação analisada no estudo de caso: fundação, paredes, estrutura e cobertura, considerando a durabilidade e aproveitamento das propriedades do material.

As recomendações da norma colombiana para construção com bambu *Guadua*, adotadas para elaborar a proposta de melhoria do sistema construtivo neste trabalho, ainda contemplam como reforço para o bambu o uso de concreto e aço, sobretudo nas uniões dos elementos estruturais e no reboco das paredes; esses materiais encarecem a construção em países como Equador. Portanto, é preciso procurar e incentivar outras opções de reforço estrutural. Por exemplo, o uso de fibra de vidro proposto por Moré (2003), que daria maior leveza à estrutura; ou o uso de fibra de juta proposto por Chavez (2008) numa parte do seu estudo, como uma alternativa mais ecológica e econômica dependendo da cola usada em combinação.

As melhorias recomendadas neste trabalho podem ser aplicadas na construção de outras tipologias de habitação unifamiliar com bambu, seja usando todo o sistema construtivo ou só algum dos subsistemas para aplicá-lo em casas de técnica mista, ou dependendo das necessidades de cada família e os recursos que tenham disponíveis. Mas sempre é recomendado ter assessoria profissional para a aplicação dos materiais e técnicas.

As melhorias propostas para o sistema construtivo foram medidas por meio da avaliação baseada na norma brasileira de desempenho NBR 15575. Foi preciso fazer algumas especificações para explicar a maneira na qual o sistema construtivo proposto atende ou poderia cumprir com as exigências da norma.

Do mesmo jeito, pela natureza deste estudo, existem parâmetros dessa norma que não puderam ser avaliados profundamente: funcional, de acessibilidade, desempenho acústico, lumínico, conforto e adequação ambiental. Conclui-se que são precisamente esses parâmetros que poderiam ser estudados e desenvolvidos em pesquisas futuras.

No presente estudo para dar uma idéia da diferença de custo, foi desenvolvido um orçamento de materiais com os mesmos preços da habitação do estudo de caso. O custo da casa aumentou por varias razões explicadas no capítulo 4. Isto leva a pensar na necessidade de combinar as propostas de habitação de interesse social com formas de financiamento para que as famílias de menor renda possam adquirir casas mais baratas sem prejudicar a qualidade de sua moradia.

A questão dos custos poderia ser estudado mais profundamente, posto que é fundamental na área de habitação de interesse social, e varia dependendo da quantidade de habitações a ser construída, a forma de construção, o nível de acabamento, etc.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220. **Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575. **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. NSR-10. **Reglamento colombiano de construcción sismo resistente**. Bogotá: AIS, 2010.

BELL, M. **The gardener's guide to growing temperate bamboos**. 1.ed. Portland, USA: Timber Press, 2000. 160p.

CAEIRO, João Gabriel Boto de Matos. **Construção em bambu**. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

CASTRO, Oscar Alfonso Vega; R., Carlos Andrés Saldarriaga. **Determinación de algunas propiedades térmicas de la Guadua Angustifolia Kunth**: el calor específico y conductividad térmica radial. Medellín: Agrodocs, 2005.

CHÁVEZ, David Javier Guzmán. **Evaluation for building elements satisfying housing criteria**. 2008. 170 f. Tese (Doutorado) - École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 2007.

GHAVAMI, Khosrow. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement And Concrete Composites**, Rio de Janeiro, p. 637-649. 23 fev. 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946504001337>>. Acesso em: 14 jul. 2011.

GONZÁLEZ, Felipe Villegas. **Comparación Consumos de Recursos Energéticos en la construcción de vivienda social: guadua vs concreto**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestre) - Curso de Medio Ambiente Y Desarrollo, Departamento de Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia, Manizales, 2005.

GONZÁLEZ, Héctor; HELLWIG, Steffen; MONTOYA, Jorge. Resultados del ensayo del módulo de Young y Resistencia a la flexión de vigas laminadas de *Guadua Angustifolia* Kunth. **Scientia Et Technica**, Pereira, n. , p.291-296, dez. 2008.

GRECO, T. M.; CROMBERG, M. **Bambu: Cultivo e Manejo**. 1.ed. Florianópolis: Insular, 2011. 184p.

GUTIÉRREZ, Jorge. **Structural Adequacy of Traditional Bamboo Housing in Latin America**. Reporte técnico No.19 International Network for Bamboo and Rattan (INBAR). National Laboratory for Materials and Structural Models (LANAMME). Departamento de Engenharia Civil – Universidad de Costa Rica. Costa Rica, 2000. 110p.

HIDALGO, Oscar. **Bamboo: The gift of the gods**. Colombia: Oscar Hidalgo, 2003. 553p.

KLEINE, Hans. **Bambu: tecnologia da durabilidade**. Florianópolis, 2010. 65p.

LIESE, W. **The anatomy of bamboo culms**. Beijing, Technical Report, INBAR, 1998. 203p.

LONDOÑO, Ximena. **Aspectos Generales de los Bambúes Americanos**. Revista Eletrónica Biobambú. Palestra apresentada no I Congresso Mexicano do bambu. Xalapa. Dezembro 2005. Disponível em:

<<http://www.bambumex.org/paginas/ASPECTOS%20GENERALEES.pdf>> Acesso em: 10 abr. 2011

MARTINS, Maria Alice Hofmann. **Curso de Especialização em Informática na Educação**. Disponível em: <<http://mariaalicehof5.vilabol.uol.com.br/>>. Acesso em: 26 abr. 2011.

MINKE, Gernot. **Manual de construcción con bambú**. Cali: Merlín, 2010. 155 p.

MONTOYA A., Jorge; **Evaluación de métodos para la preservación de la *Guadua angustifolia kunth***. *Scientia et Technica* Año XIV, No 38. Universidad Tecnológica de Pereira. Junio de 444 2008.

MONTOYA, Jorge; OROZCO, Carlos. **Fundamentos prácticos del secado de guadúa – bambú**. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, 2008. 158p.

MORÁN, Jorge. **Durabilidade média das construções de Guadua**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <andresalome@gmail.com>. em: 27 nov. 2011.

MORÁN, Jorge. **Sistemas de Construcción con Caña Guayaquil**. Em: Seminário Internacional: La caña Guayaquil, recurso del futuro..., Chiclayo, 2006.

MORÉ, Telmo Norberto Moreira. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil . **Estrutura treliçada em bambu para utilização em telhados residenciais**. Florianópolis, 2003. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

PEREIRA, Marco A. R.; BERALDO, Antonio L.. **Bambu de corpo e alma**. 2. ed. Bauru: Canal 6, 2008. 240 p.

PREISER, Wolfgang F. E.; **A evolução da Avaliação de Pós-Ocupação: na direção da avaliação do desempenho da edificação e da avaliação pelo desenho [ou projeto] universal**. Tradução de Federico Flósculo. Federal facilities council technical report no. 145. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001. P. 9-22. Disponível em: <https://sites.google.com/site/flosculo/> Acesso em: 10 abr. 2011.

PINZÓN, Tito Morales. Evaluación y ajuste del proceso de preservación de guadua por inmersión con sales de boro. **Scientia Et Technica**, Pereira, p. 457-462. Jul. 2006. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84911652081>>. Acesso em: 15 jul. 2011.

POPPENS, Ronald; MORÁN, Jorge. **Vivir con la guadúa**. Publicação INBAR. Quito, 2005. 64p.

RIAÑO, N. M.; Londoño X.; LÓPEZ, Y.; GÓMEZ J.H. Plant growth and biomass distribution on *Guadua Angustifolia* Kunth in relation to ageing in the Valle del Cauca – Colombia. **Bamboo Science and**

Culture: The Journal of the American Bamboo Society. v.16(1). p. 43-51. 2002.

ROBLEDO, J.E.; **La ciudad en la colonización antioqueña: Manizales.** Bogotá: Editorial Universidad Nacional. 1996. 242p.

ROMERO, Marcelo de Andrade; ORNSTEIN, Sheila Walbe (Ed.). **Avaliação Pós;Ocupação: Métodos e Técnicas Aplicados à Habitação Social.** Porto Alegre: ANTAC, 2003. 294 p.

SALAS, Eduardo. **Simon Vélez: símbolo y búsqueda de lo primitivo:** 2006. 409 f. Tese (Doutorado) - Curso de Construcción, Restauración Y Rehabilitación Arquitectónica, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2006.

SZÜCS, Carlos Alberto; MORÉ, Telmo Norberto Moreira; SOARES, Mariana. Treliças estruturais de bambu em construções sustentáveis. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XII, 2010, Canela. **Anais...** . Porto Alegre: Antac, 2010. 9p.

UN HABITAT. **State of the World: Bridging the urban divide.** Londres: Earthscan, [2010]. 220 p. Disponível em: <unhabitat.org>. Acesso em: 11 dez. 2011.

ANEXO A

PRESUPUESTO DE MATERIALES CASA 2008

DESCRIPCION	UNIDAD	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL En dólares USD
TRATAMIENTO BAMBU				
água	m3	6	1,08	6,48
ácido bórico	kg	25	1	25,00
bórax	kg	25	1	25,00
plástico	m	30	0,35	10,50
				66,98
OBRAS PRELIMINARES				
Limpieza manual del terreno	m2	36,35	0,51	18,54
Replanteo y nivelación	m2	36,35	0,77	27,99
				46,53
CIMENTACIÓN				
Piedra Bola	volqueta	1	60,00	60,00
Ripio	m3	2,1	10,00	21,00
Impermeabilización (plástico negro)	m2	36,35	0,35	12,72
Tabla de encofrado	u	12	1,50	18,00
Clavos	kg			0
				111,72
CONTRAPISO				
Arena	m3	1,65	7,85	12,95
Ripio	m3	2,41	10,00	24,10
Cemento	qq	18	6,45	116,10
Malla armex 4mm (15*15cm) 6*2,5m	u	2	22,86	45,72
Alisado de piso mortero 1:3 e = 1,5 cm	m2	36,35	3,54	128,68
				327,55
ESTRUCTURA (CERCHAS)				
Varilla en chicotes (10mm / L=.30 m c/u)	ml	3,6	0,56	2,016
Alambre recocido #18 (amarre armex-chicotes)	lb		0,69	0

Cemento	qq	0,15	6,45	0,97
Arena	m3	0,012	7,85	0,09
Ripio	m3	0,018	10,00	0,18
Caña guadua	u	36	2,70	97,2
Varilla roscada L=2m (perno de .40 m c/u)	u	5	3,20	16,00
Tuerca hexágono 3/8"	u	48	0,07	3,36
Arandela plana galvanizada 3/8"	u	48	0,04	1,92

121,74

SOLERA				
Caña guadua L=6.24 m	u	4	2,70	10,80
Varilla roscada L=2m (perno de .30 m c/u)	u	2	3,20	6,40
Tuerca hexágono 3/8"	u	26	0,07	1,82
Arandela plana galvanizada 3/8"	u	26	0,04	1,04

20,06

PAREDES				
Caña guadua	u	35	2,70	94,50
Varilla corrugada (perno de .30 m c/u)	ml	7,5	0,56	4,20
Varilla corrugada (perno de .40 m c/u)	ml	4	0,56	2,24
Varilla en chicotes (10mm L=.20 m c/u)	ml	7	0,56	3,92
Cemento	qq	0,45	6,45	2,90
Arena	m3	0,03	7,85	0,24
Ripio	m3	0,05	10,00	0,50

108,50

MAMPOSTERIA				
Bloque 10 cm con mortero 1:6 e=2cm	m2	7,37	6,25	46,06
Chicotes a estructura (mampostería bloque L=.20m)	ml	4,8	0,56	2,69
Caña picada	m2	109,08	1,60	174,53
Alambre de púas	m	330	0,07	23,10
Clavos 2 1/2"	kg			0,00
Clavos	kg			0,00
Grapas				0,00
Cemento	qq	21	6,45	135,45
Arena	m3	2,1	7,85	16,49

398,31

CARPINTERIA				
Puerta de madera	u	2	50,40	100,8
Ventana de madera	u	3	28,00	84,00
Inmunizante SIKA Merulex	gl	1	10,68	10,68

195,48

CUBIERTA METÁLICA				
Duratecho	ml	64,8	3,90	252,72
Tornillo autopercorante para madera 3"	u	108	0,10	10,8

263,52

ESTRUCTURA CUBIERTA				
Caña guadua L=7.5m	u	12	2,70	32,4
Varilla roscada 3/8" L=2m (perno de .30m c/u)	u	4	3,20	12,8
Tuerca hexágona 3/8"	u	48	0,07	3,36
Arandela plana galvanizada 3/8"	u	48	0,04	1,92

50,48

INSTALACIÓN ELÉCTRICA				
Puntos de luz	pto	4	18,00	72,00
Tomacorrientes dobles	pto	4	21,00	84,00
Tablero de control 2 breakers	u	1	10,00	10,00

166,00

INSTALACIÓN SANITARIA				
Puntos de agua fría	pto	3	32,15	96,45
Puntos de desagüe	pto	4	16,24	64,96
Lavaplatos	u	1	20,00	20,00
Inodoro Firenze FV	u	1	62,35	62,35
Lavabo Roma FV	u	1	12,47	12,47
Ducha	u	1	14,20	14,20

270,43**TOTAL 2147,30**

ANEXO B

ORÇAMENTO DE MATERIAIS DA PROPOSTA CONSTRUTIVA

Preços 2008 em dólares USD

	quantidade	unidade	custo unitário	custo total
PRESERVAÇÃO DO BAMBU				
água	12	m3	1,08	12,96
ácido bórico	50	kg	1	50
bórax	50	kg	1	50
plástico	60	m	0,35	21
				133,96
OBRAS PRELIMINARES				
Limpeza manual del terreno	38	m2	0,51	19,38
Replanteo y nivelación	38	m2	0,77	29,26
				48,64
LAJE DE CIMENTAÇÃO (OPÇÃO 1)				
pedra	3	m3	20	60
brita	2,1	m3	10	21
plástico	36,4	m2	0,35	12,74
madeira para a forma	12	u	1,5	18
pregos 1 1/2"	0,2	kg	0,71	0,142
CONTRAPISO				111,882
areia	1,65	m3	7,85	12,9525
brita	2,41	m3	10	24,1
cimento	18	qq	6,45	116,1
tela metálica 15x15cm	2	u	22,86	45,72
argamassa 1:3 e=1,5cm	36,4	m2	3,54	128,856
				327,7285
BASES ISOLADAS (OPÇÃO 2)				
cimento	9	qq	6,45	58,05
areia	1,2	m3	7,85	9,42
brita	1,2	m3	10	12
colmos inteiros de bambu (3m)	44	u	1,5	66
vara roscada de aço (2m)	22	u	3,2	70,4

porcas	112	u	0,07	7,84
arruela	112	u	0,04	4,48

CONTRAPISO**228,19**

esteiras de bambu (3m)	24	u	1,7	40,8
malha hexagonal	36	m2	1,2	43,2
arame galvanizado #18	1	kg	0,73	0,73
pregos 1 1/2"	0,5	Kg	0,71	0,355
cimento	10	qq	6,45	64,5
areia	1,06	m3	7,85	8,321
brita	1,06	m3	10	10,6
				168,506

ESTRUTURA

colmos inteiros	32	u	2,7	86,4
cimento	15	qq	6,45	96,75
areia	1,21	u	6	7,26
compra de esteiras prontas	10	u	1,7	17
porcas	220	u	0,07	15,4
arruelas	220	u	0,04	8,8
vara roscada de aço (2m)	22	u	3,2	70,4
sikadur 32 gel	2	u	31	62
				364,01

PAREDES

tijolos	117	u	0,3	35,1
colmos de bambu de 3m	33	u	2,7	89,1
esteiras de bambu	87	u	2,9	252,3
arame galvanizado # 18	10	kg	0,73	7,3
pregos de 1,5"	5	kg	0,71	3,55
vara roscada de aço (2m)	10	u	3,2	32
arruelas	66	u	0,04	2,64
porcas	66	u	0,07	4,62
cimento	80	qq	6,45	516
cal	23,4	qq	10	234
areia	12	m3	7,06	84,72
				1261,33

COBERTURA

colmos de bambu inteiros (travessas) 3m	16	u	2,7	43,2
---	----	---	-----	------

colmos de bambu (para cortar no meio)	50	u	2,7	135
madeira para fabricação de forma	12	u	1,5	18
pregos 1 1/2"	0,2	kg	0,71	0,142
concreto leve 180kg/m3	5	m3	69,99	349,95
sikadur 32 gel	4	u	31	124
vara roscada de aço (2m)	20	u	3,2	64
arruelas	300	u	0,04	12
porcas	300	u	0,07	21
Selador de juntas entre painéis	40	m	2	80
				847,292

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

ponto de iluminação	5	ponto	18	90
tomadas duplas	6	ponto	21	126
Tablero de control 2 breakers	1	u	10	10
				226

INSTALAÇÕES SANITÁRIAS

ponto de agua fria	3	ponto	32,15	96,45
ponto de drenagem	4	ponto	16,24	64,96
pia cozinha	1	u	20,00	20
vaso sanitario	1	u	62,35	62,35
pia banheiro	1	u	12,47	12,47
chuveiro	1	u	14,20	14,2
				270,43

JANELAS E PORTAS

bambu para a moldura	4	u	1,5	6
vidro 3mm	5	m2	8,32	41,6
silicone	1	u	20	20
pivot	8	u	8	64
cola	1	u	4,32	4,32
porta de madeira	2	u	50	100
				235,92

total opção 1	3827,1925
total opção 2	3784,278

