

UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO
DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y URBANISMO



Emanuella Sossai Altoé

Sistema construtivo para habitação rural no Brasil: módulo para
vedação vertical *Quarter Log* em *Eucalyptus grandis*

UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO
DOUTORADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

EMANUELLA SOSSAI ALTOÉ

**Sistema construtivo para habitação rural no Brasil: módulo para
vedação vertical *Quarter Log* em *Eucalyptus grandis***

CONCEPCIÓN
2014

EMANUELLA SOSSAI ALTOÉ

**Sistema construtivo para habitação rural no Brasil: módulo para
vedação vertical *Quarter log* em *Eucalyptus grandis***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidad del Bio Bio, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Gerardo Erich Saelzer Fuica

Coorientadora: Prof^a. Dra. Cristina Engel de Alvarez

CONCEPCIÓN

2014

EMANUELLA SOSSAI ALTOÉ

**Sistema construtivo para habitação rural no Brasil: módulo para
vedação vertical *Quarter log* em *Eucalyptus grandis***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidad del Bio Bio, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

Comissão Examinadora

.....
Prof. Dr. Gerardo Erich Saelzer Fuica - Universidad del Bío Bío

.....
Profa. Dr^a. Cristina Engel de Alvarez - Universidade Federal do Espírito Santo

.....
Prof. Dr. Luís Bragança – Universidade do Minho

.....
Prof. Dr. Olavo Escorcia Oyola – Universidad Nacional de Colômbia

.....
Prof. Ricardo Hempel – Universidad del Bío Bío

.....
Prof. Dr^a Cecília Bustos – Universidad del Bío Bío

Dedico às pessoas que pensam ser incapazes de superar as suas limitações, como prova da minha vitória.

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho seria impossível sem o apoio, incentivo e contribuição de pessoas extremamente especiais, a quem necessito sinceramente agradecer.

À PROF^a DR^a CRIS pelo incentivo, apoio, dedicação, companheirismo, orientação e paciência durante a construção dos meus conhecimentos, pelo carinho e preocupação nos momentos difíceis e decisivos, assim como, pelas risadas e conversas nas ocasiões de descontração.

Ao PROF. DR. GERARDO ERICH SAELZER FUICA pelas orientações e receptividade durante os períodos que estive no Chile.

Aos professores RODRIGO GARCIA, CECÍLIA BUSTOS e RICARDO HEMPEL pelo auxílio na formação de um pensamento científico.

Ao PROF. DR. FERNANDO AVANCINI pela sua disponibilidade, orientação e apoio, e, especialmente, por disponibilizar o uso do LEMAC para os ensaios mecânicos.

Ao PROF. DR. MACKSUEL AZEVEDO pela ajuda e orientação no processo de análise dos dados.

Aos colegas do LEMAC, em especial, ao LORIATO pela sua força de vontade, apoio e confiança. À XUXA pelo cafezinho e conversas nos intervalos. Ao LORENZO LUBE, pelo intercâmbio de conhecimento e apoio.

Aos colegas do Laboratório de Planejamento e Projeto da Universidade Federal do Espírito Santo pelo apoio para o desenvolvimento da pesquisa, em especial à KARINA HERZOG, à MARINA TOMÉ e a KARLA RÚBIA, bolsistas de Iniciação Científica.

À arquiteta ELAUDIA LUZIA LIMA DAN pelas orientações e fornecimento de dados importantes para o desenvolvimento do projeto arquitetônico.

Ao SR. NORMAN FERREIRA DOS SANTOS pelas orientações e disponibilização das máquinas para a execução dos protótipos.

Ao SR. GILDO e ao GEAN pela disponibilidade, orientação e conversas agradáveis durante a execução dos modelos.

Ao amigo LUÍS EDUARDO pela sua dedicação e ajuda na busca de referências bibliográficas, assim como, pelo seu ombro amigo nas horas de desespero.

Aos meus colegas do doutorado, em especial à LALINE pelo apoio, carinho e receptividade.

À MÁRCIA BISSOLI e à EDNA NICO RODRIGUES pelo companheirismo, carinho, atenção e troca de conhecimentos.

Aos meus amigos professores, BRUNNA OLIVEIRA, MICHELA SAGRILLO, ALINE SILVA, ALINA LOUZADA, NEWTON OLIVEIRA, MARISLEIDE GARCIA, PATRÍCIA STELZER, PATRÍCIA COVRE, DENISE CHANE, CRISTINA BUERY, VIVIANE PIMENTEL, WARLEY TEIXEIRA, ROBER ROSI e JOSÉ TASSO, que acompanharam o meu empenho para a realização dessa pesquisa.

Ao LEANDRO pelo incentivo incondicional, apoio e auxílio no desenvolvimento da pesquisa.

À minha família pela “compreensão” em relação à minha ausência. Aos meus primos pelas conversas engraçadas nos momentos de descontração.

À família EJC Praia do Suá pelo despertar de um olhar positivo em relação à vida.

Ao meu DEUS fiel que me confortou nos momentos mais difíceis e me ensinou a confiar e acreditar na realização dos meus sonhos.

E a todas as pessoas que direta ou indiretamente impulsionaram a realização desse trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de habitação rural..	27
Figura 2 - Etapas de produção e montagem das habitações, através do Programa Morar Conscientizar	29
Figura 3 - <i>Isba Rusa</i>	37
Figura 4 - Moradia norte-americana de toras sobrepostas	38
Figura 5 - Minka Japonesa.....	39
Figura 6 - <i>Indlu</i> africano, estruturado com peças roliças curvadas	39
Figura 7 - <i>Paisa</i> colombiana.....	40
Figura 8 - Habitação encontrada na região do Nordeste brasileiro, com estrutura em madeira e vedação em taipa de mão	41
Figura 9 - Armação para taipa.....	41
Figura 10 - Exemplo de construção em <i>enxaimel</i>	42
Figura 11 - Exemplos de tipos de encaixe das peças utilizadas no <i>enxaimel</i>	43
Figura 12 - À esquerda, sistema Plataforma e à direita, sistema reticulado	50
Figura 13 - Exemplo de encaixes pilar e viga, utilizados na Alemanha.....	50
Figura 14 - À esquerda, sistema pilar e viga articulado e à direita, sistema pilar e viga embutido.....	51
Figura 15 - Vista externa do Park Hotel São Clemente, com a estrutura em madeira roliça.....	52
Figura 16 - Salão de Jogos - Reserva Natural da Vale, Linhares/ ES.....	53
Figura 17 - Casa do Horto, São Carlos	54
Figura 18 - Esquema do sistema viga-vagão	55
Figura 19 - Etapas de execução da Unidade Habitacional 001.....	56
Figura 20 – Em (a), detalhe de travamento da estrutura e em (b), vedação executada com plástico.....	56
Figura 21 - Vista externa da Unidade Habitacional 002.....	57
Figura 22 - Estrutura da cobertura do edifício experimental do LaMEM	57
Figura 23 – Em (a), detalhe da vedação com costaneiras e em (b), vista externa da edificação	58
Figura 24 - Montagem do painel estrutural	58
Figura 25 - Etapas de montagem do sistema proposto por Partel em 2006	59

Figura 26 - Assentamento Rural Sepé-Tiarajú	60
Figura 27 - Assentamento Rural Sepé-Tiarajú	60
Figura 28 - Módulo para alojamento - Reserva Natural da Vale, Linhares / ES....	62
Figura 29 - Centro de vivência - Horto Florestal, Ecoporanga / ES.....	63
Figura 30 - Centro de Vivência, Horto Florestal, Ecoporanga / ES	63
Figura 31 - Síntese das etapas seguidas para o desenvolvimento da tese	77
Figura 32 – Em (a), mapa do Brasil com a localização do Estado do Espírito Santo e em (b), mapa do Espírito Santo com a localização do Município de Jaguaré	78
Figura 33 – Município de Jaguaré.....	79
Figura 34 - Representação dos tipos de rachaduras de topo denominadas “X”, “Y” e “I”, respectivamente	81
Figura 35 - Processo de anelamento	82
Figura 36 - Folhas secas na árvore sob o processo de anelamento e tora tombada e infestada por insetos	83
Figura 37 - Toras com a aplicação de <i>gang nails</i> e ausência de rachaduras de topo	84
Figura 38 - Verificação do teor de umidade nas peças, após o corte da árvore ...	84
Figura 39 - À esquerda, disposição das toras para armazenamento em lotes e à direita, processo de descascamento.....	86
Figura 40 - Configuração básica das peças que compõem o módulo para vedação vertical proposto.....	88
Figura 41 - Esquema de preparação das peças <i>Quarter Log</i> , peças auxiliares, pilares e vigas para o protótipo 1, com o respectivo instrumental utilizado	90
Figura 42 - Análise de estanqueidade realizada no protótipo 1	92
Figura 43 – Água direcionada a aproximadamente 45°	93
Figura 44 - Esquema de preparação das peças <i>Quarter Log</i> e das auxiliares para o protótipo 2, com o respectivo instrumental utilizado	94
Figura 45 - Esquema de preparação dos pilares e das vigas para o protótipo 2, com o respectivo instrumental utilizado	95
Figura 46 - Análise de estanqueidade do protótipo 2, colocado na posição horizontal e com a água direcionada à aproximadamente 90°	96
Figura 47 - Protótipos executados para a avaliação de desempenho.....	97
Figura 48 - Esquema de posicionamento dos protótipos para a realização dos ensaios de segurança	100

Figura 49 – Areia seca e saco de couro utilizado no ensaio	100
Figura 50 – À esquerda, posição da esfera metálica de 0,5kg em relação ao painel e à direita, da esfera de 1 Kg	101
Figura 51 – À esquerda, defletômetro e à direita, paquímetro utilizados nos ensaios.....	101
Figura 52 - Esquema para o ensaio de corpo mole e de corpo duro	102
Figura 53 – À esquerda, barra escalonada e à direita, detalhe do cilindro metálico em relação à barra de medição utilizada no ensaio	103
Figura 54 - Mossas geradas no protótipo, após a realização do ensaio de corpo duro.....	104
Figura 55 - Corte esquema de posicionamento dos elementos no ensaio de compressão axial simples	105
Figura 56 - Posicionamento dos defletômetro 1 (à esquerda) e 2 (à direita)	105
Figura 57 - Processo de retirada das costaneiras.....	111
Figura 58 - Processo de divisão das peças em quatro partes iguais.	112
Figura 59 - Processo de destopo (à esquerda) e fixação do gabarito para furação das peças (à direita).....	112
Figura 60 - Posicionamento do furo para a inserção da barra rosqueada	113
Figura 61 – À esquerda, furação das vigas e à direita, montagem do protótipo com as barras rosqueadas	113
Figura 62 - À esquerda, detalhe do recorte para ajuste das peças e à direita, protótipo montado	114
Figura 63 - Manchas de umidade na face interna do protótipo após 30 minutos de lançamento da água em um ângulo de 30° em relação ao mesmo	115
Figura 64 - Manchas de umidade na face interna do protótipo após 30 minutos de lançamento da água em um ângulo de 60° em relação ao mesmo	115
Figura 65 - Manchas de umidade na face interna do protótipo após 30 minutos de lançamento da água em um ângulo de 0° em relação ao mesmo	116
Figura 66 - Frestas verificadas no Protótipo 1.....	117
Figura 67 - Pingadeira realizada nas peças <i>Quarter Log</i>	118
Figura 68 - Imagens do protótipo 2	119
Figura 69 - Resultado observado após a realização do teste de estanqueidade no protótipo 2	119

Figura 70 - Nó existente em uma das peças <i>Quarter Log</i> que compõe o protótipo 2.....	120
Figura 71 - Realização da segunda etapa do teste de estanqueidade no protótipo 2.....	120
Figura 72 - Mancha de umidade no protótipo 2, após a realização da segunda etapa do teste de estanqueidade.....	121
Figura 73 - Imagem aproximada do protótipo 3 onde se constata o não surgimento de frestas entre as peças <i>Quarter Log</i>	122
Figura 74 - Esquema de preparação e sobreposição das peças que compõem a vedação proposta.....	122
Figura 75 - Detalhe de ligação entre módulo e estrutura. Acima, vista superior da ligação pilar-módulo e abaixo, corte vertical do módulo.....	123
Figura 76 - Detalhe de ajuste das peças <i>Quarter log</i> , sendo acima, corte vertical da vedação e abaixo, vista interna da vedação.....	124
Figura 77 - Detalhe de fixação vedação-base e pilar-base.....	125
Figura 78 - Vista superior do detalhe de ligação entre os módulos de vedação e as peças de acabamento entre vedação e pilar.....	126
Figura 79 - Detalhe de fixação da costaneira para acabamento – corte vertical.	126
Figura 80 - Detalhe de fixação da janela – planta baixa.....	127
Figura 81 - Detalhe de fixação da janela, corte vertical.....	127
Figura 82 - Representação de montagem do subsistema <i>Quarter Log</i> a partir da independência entre vedação e estrutura.....	128
Figura 83 – Planta baixa da residência unifamiliar projetada.....	129
Figura 84 - Planta baixa esquemática de um dormitório com a identificação do posicionamento dos painéis em <i>Quarter Log</i>	130
Figura 85 - Planta baixa demonstrando, em marrom, as peças de madeira serrada para a vedação do banheiro e da cozinha.....	131
Figura 86 - Corte esquemático da instalação das vedações em madeira do banheiro.....	132
Figura 87 - Demonstração de montagem da edificação modelo estruturada através de sistema viga/pilar e sistema de vedação em <i>Quarter Log</i>	133
Figura 88 - Imagens externas - frontal e fundos - da edificação modelo de habitação rural para avaliação de viabilidade projetual do sistema <i>Quarter Log</i>	134

Figura 90 - À esquerda, protótipo com uso de ripas nas laterais e à direita, o mesmo protótipo tendo sido substituídas as ripas por tora de pequeno diâmetro	142
Figura 90 - Aplicação de carga no protótipo 3.....	146
Figura 91 - Aplicação de carga no protótipo 4.....	146
Figura 92 - À esquerda, formação de pingadeiras naturais pelo sistema proposto <i>Quarter Log</i> e à direita, possibilidade de acúmulo de água devido ao formato das peças utilizadas no sistema tradicional <i>Log home</i>	151

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Encurtamento gerado no Protótipo 4.....	147
---	-----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas construtivos utilizados em países com o uso tradicional da madeira na construção civil.....	47
Quadro 2 - Sistemas construtivos utilizados no Brasil	48
Quadro 3 - Exigências dos usuários em relação ao desempenho prescritos pelas normas ISO 6241: 1984 e NBR 15.575: 2013.....	74
Quadro 4 – Normas relacionadas à avaliação do módulo <i>Quarter Log</i> , vigentes no Chile.....	75
Quadro 5 - Compilação das exigências de avaliação recomendadas pela NBR 15.575:2013	98
Quadro 6 - Resultado da avaliação do projeto em relação às especificidades da madeira	139
Quadro 7 - Resultado da avaliação do projeto em relação à facilidade de execução do sistema	140
Quadro 8 - Resultado da avaliação do projeto em relação às exigências de desempenho	141
Quadro 9 - Comparativo entre o sistema construtivo tradicional de <i>Log home</i> e o sistema <i>Quarter Log</i>	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características básicas do Brasil, Espírito Santo e Jaguaré	22
Tabela 2 - Altura de arremesso e energia resultante para a realização do ensaio de corpo mole	102
Tabela 3 - Valores adotados para a realização do ensaio de corpo duro	103
Tabela 4 - Custo para a execução das etapas construtivas que compõem a edificação do projeto modelo de habitação, exceto vedação e estrutura.....	136
Tabela 5 - Custo de materiais para a execução de vedação e estrutura, <i>Quarter Log</i>	136
Tabela 6 - Custo de materiais para a execução de vedação e estrutura, <i>Log home</i>	137
Tabela 7 – Custo para execução da edificação com os sistemas: <i>Quarter Log</i> , <i>Log home</i> e alvenaria convencional.....	138
Tabela 8 - Valores registrados no ensaio de corpo mole, conforme a altura estabelecida pela norma	143
Tabela 9 - resultado das mossas geradas no ensaio de corpo duro.....	144
Tabela 10 - Resultado do ensaio de compressão conforme a carga aplicada....	145
Tabela 11 - Desempenho sob os impactos de corpo mole de vedações verticais externas sem função estrutural	153
Tabela 12 - Desempenho sob os impactos de corpo mole de vedações verticais internas sem função estrutural	154
Tabela 13 - Desempenho sob os impactos de corpo duro de vedações verticais internas sem função estrutural	154

LISTA DE SIGLAS

ABNT -	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF -	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ASTM -	American Society for Testing Materials
BANDES -	Banco de Desenvolvimento do Estado do Espírito Santo
BNH -	Banco Nacional da Habitação
CAPES -	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAT -	Certificado de Aptitud Técnica
CBCS -	Conselho Brasileiro de Construção Sustentável
CBIC -	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CE -	Comunidade Europeia
CEF -	Caixa Econômica Federal
CIB -	Conseil International du Batiment
CNPq -	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CVRD -	Companhia Vale do Rio Doce
EMBRAPA -	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO -	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FGTS -	Fundo de Garantia por Tempo de Serviço
FGV -	Fundação Getúlio Vargas
FINEP -	Financiadora de Estudos e Projetos
FISSET -	Fundo de Investimentos Setoriais
GHab -	Grupo de Pesquisa em Habitação
HABIS -	Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade
HABIS -	Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade
IBDF -	Instituto de Desenvolvimento Florestal
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICE -	Instituto de la Construcción de Edificios
INCAPER -	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Expansão Rural
INCRA -	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INTI -	Instituto Nacional de Tecnologia Industrial
IPEA -	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPT -	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO -	International Organization for Standardization

JUNAC -	Junta de Diseño para Maderas Del Grupo Andino
LaMEM -	Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira
LEMAC -	Laboratório de Materiais da Universidade Federal do Espírito Santo
MCMV -	Minha Casa Minha Vida
MOE -	Módulo de Elasticidade
MOR -	Módulo de Ruptura
NAFI -	Associação Nacional de Indústrias Florestais da Austrália
NBS -	National Bureau of Standards
NIST -	National Institute of Standards and Technology
ONU -	Organização das Nações Unidas
PBBD -	Performance Based Building Designs
PDA -	Planos de Desenvolvimento de Assentamento
PeBBu -	Performance Based Building
PIB -	Produto Interno Bruto
PND -	Plano Nacional de Desenvolvimento
PNHR -	Programa Nacional de Habitação Rural
RILEM -	Reunión Internationale de Laboratoires d'Essais et de Recherches sur lês Materiaux et Constructions
SAE -	Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República
SBPE -	Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo
UFSCar -	Universidade Federal de São Carlos
USP -	Universidade de São Paulo
WFTAO -	World Federation of Technical Assessment Organizations

RESUMO

A habitação, mais do que uma necessidade social, é um direito do homem independente de sua localização. No Brasil o déficit habitacional, incluindo a denominada classe média, apesar de ser majoritariamente urbana, também é significativo na zona rural, caracterizado pelo número insuficiente de moradias e pelo baixo desempenho das existentes. Tal aspecto se verifica, principalmente, pela dificuldade de acesso às tecnologias relacionadas aos materiais de construção, ao conhecimento técnico, aos recursos financeiros oriundos de financiamentos, e à ausência de políticas públicas acessíveis à população local. O **objetivo** dessa pesquisa é propor uma opção construtiva para a habitação rural no Brasil, considerando uma parcela da comunidade rural como população alvo, através do desenvolvimento de um módulo para vedação vertical, que tenha como condicionante a facilidade de execução, o uso de matéria prima local – o *Eucalyptus grandis* na forma roliça – e a mínima necessidade de mão de obra especializada. Os procedimentos metodológicos envolveram três etapas: 1 – formulação do problema, delimitação do local de uso e aplicação, caracterização do público alvo, pesquisa de aceitabilidade da madeira, levantamento da infraestrutura local e desenvolvimento do referencial conceitual e estado da arte; 2 – desenvolvimento do projeto, execução dos protótipos, avaliação das etapas de montagem e análise de custo; e 3 - avaliação de desempenho do projeto, avaliação de desempenho dos protótipos e análise dos resultados. Como principal **resultado**, apresenta-se o módulo para vedação vertical *Quarter Log*, a demonstração de sua viabilidade técnica para o uso em habitações localizadas em regiões interioranas do Espírito Santo, com reduzida infraestrutura de apoio para sua execução, a comprovação de seu atendimento aos critérios de segurança estrutural estabelecido pela norma vigente e análise de custo. As constatações possibilitam afirmar a viabilidade de uso da vedação *Quarter Log* em regiões com reduzida infraestrutura de apoio para execução – como o do local de aplicação dos estudos – e que, o subsistema citado atende à exigência de segurança estrutural para a utilização em habitações.

Palavras Chave: Desempenho. Habitação. Madeira. Vedação vertical.

ABSTRACT

Housing, more than a social need, is a human right regardless of location. In Brazil, the housing deficit, including the so-called middle-class, despite being mostly urban, is also significant in the rural areas, characterized by insufficient number of dwellings and the low performance of existing ones. This aspect is mainly due to the difficulty of access to technologies related to building materials, technical knowledge, resources from financing sources, and the absence of public policies accessible to the local population. The aim of this research is to propose a construction option for rural housing in Brazil, considering a portion of the rural community as the target population, through the development of a module for vertical sealing –, which has as conditioning factor the ease of implementation, the use of local raw material - *Eucalyptus grandis* wood round - and minimal need for skilled labor. Methodological procedures involved three steps: 1 - formulation of the problem, delimitation of the place of use and implementation, characterization of the target group, survey of wood acceptability, survey of local infrastructure, and development of conceptual reference and state of the art; 2 - project development, implementation of prototypes, evaluation of assembly steps, and cost analysis; and 3 - evaluation of project's performance and prototypes' performance and results analysis. As a main result, it is presented the module for vertical sealing Quarter Log subsystem, the demonstration of its technical feasibility for use in dwellings located in the countryside regions of the Estate of Espírito Santo, with limited support infrastructure for its implementation, and the proof of its compliance with the structural safety criteria established by the current regulation and cost analysis. The findings enable to affirm the feasibility of using the Quarter Log sealing in regions with limited support infrastructure for implementation - as the place of application studies -, and that the mentioned subsystem meets the requirements of structural safety for use in dwellings.

Keywords: Performance. Housing. Wood. Vertical sealing.

RESUMEN

La vivienda, más que una necesidad social, es un derecho del hombre independiente de su localización. En Brasil el déficit habitacional, incluyendo la denominada clase media, pese a ser mayoritariamente urbana, también es significativo en la zona rural, caracterizado por el número insuficiente de viviendas y por el bajo desempeño de las existentes. Tal aspecto se verifica, principalmente, por la dificultad de acceso a las tecnologías relacionadas a los materiales de construcción, al conocimiento técnico, a los recursos financieros oriundos de financiamientos, y la ausencia de políticas públicas accesibles a la población local. El objetivo de esta investigación es auxiliar en la resolución del déficit habitacional rural a través del desarrollo de un módulo para sellado vertical, caracterizado por la facilidad de ejecución, por el uso de materia prima local – o *Eucalyptus grandis* – y la mínima necesidad de mano de obra especializada. El método adoptado envuelve: 1) definición de directrices de proyecto y criterios de evaluación; 2) Desarrollo del subsistema y la evaluación de la viabilidad locales; 3) Evaluación de la junta vertical en relación con la seguridad estructural y 4) análisis de los datos recogidos. Como resultado principal, se presenta el módulo para sellado vertical *Quarter Log*, la demostración de su viabilidad técnica para el uso en viviendas situadas en las regiones interiores del Espírito Santo, con infraestructura de apoyo reducido para su aplicación y la prueba de su asistencia a los criterios de seguridad estructural establecido por las normas vigentes. Los resultados permiten afirmar la viabilidad de usar el subsistema *Quarter Log* en regiones con infraestructura de apoyo a la reducción de la ejecución - como el local de aplicación de estudios -, y de que el sistema cumple con el requisito mencionado seguridad estructural para su uso en las viviendas.

Palabras Clave: Desempeño. Vivienda. Madera. Sellado vertical.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1. Formulação do Problema	23
1.2. Justificativa	28
1.3. Contribuição da Pesquisa.....	30
1.4. Hipótese e Objetivos	33
1.4.1. Hipótese	33
1.4.2. Objetivo Geral	33
1.4.3. Objetivos Específicos	34
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	36
2.1. A Presença da Madeira roliça na Arquitetura para Habitação.....	36
2.1.1. Sistemas Construtivos em Madeira Roliça.....	43
2.2. As Florestas Plantadas no Contexto da Construção Civil.....	64
2.2.1. Caracterização do Eucalipto para a Construção Civil	66
2.3. Avaliação de Desempenho	69
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS – DESENVOLVIMENTO E AVALIÇÃO DO MÓDULO	76
3.1. Definição dos Condicionantes de Projeto e dos Critérios de Avaliação	77
3.1.1. Delimitação do local de uso e caracterização do público alvo	77
3.1.2. Pesquisa sobre a aceitabilidade da madeira e a infraestrutura local	79
3.2. Definição da Espécie de Eucalipto a ser utilizada	80
3.3. Desenvolvimento do Módulo para Vedação Vertical e Avaliação da Exequibilidade Local	86
3.4. Avaliação da adequabilidade do Módulo para Vedação Vertical - segurança estrutural, condicionantes projetuais e custo	98
3.5. Análise dos Resultados Alcançados	106
4. RESULTADOS ALCANÇADOS	107

4.1. Condicionantes de Projeto	107
4.2. Proposta de Módulo para Vedação Vertical <i>Quarter Log</i>	109
4.2.1. Execução do Protótipo 1	111
4.2.2. Execução dos Protótipos 2, 3 e 4.....	117
4.2.3. Definição do Projeto para Vedação Vertical <i>Quarter Log</i>	122
4.3. O Custo de Execução	135
4.4. Avaliação do módulo <i>Quarter Log</i> em relação às diretrizes projetuais estabelecidas	138
4.5. Avaliação do módulo <i>Quarter Log</i> em relação à segurança estrutural.....	142
4.5.1. Ensaio de Impacto de Corpo Mole e Corpo Duro.....	143
4.5.2. Ensaio de Resistência à Compressão Axial Simples	145
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	148
5.1. Análise Projetual	148
5.2. Análise de Segurança Estrutural.....	152
5.2.1. Ensaio de Corpo Mole e Corpo Duro	152
5.2.2. Ensaio de Compressão Axial Simples.....	155
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros	162
REFERÊNCIAS.....	164
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO ACADÊMICO.....	181
APÊNDICE B – PROJETO ARQUITETÔNICO	182
APÊNDICE C – EXEMPLOS DE FLEXIBILIZAÇÃO DO MÓDULO PARA VEDAÇÃO VERTICAL PROPOSTO.....	183
APÊNDICE D - CÁLCULO PARA AVALIAÇÃO DO ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL SIMPLES.....	184
APÊNDICE E - CARACTERIZAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO ESTABELECIDAS PELA NBR 15.575:2013.....	186

1. INTRODUÇÃO

A habitação pode ser definida como uma dimensão filosófica, fisiológica, sociológica e psicológica, reportada diretamente à satisfação de um conjunto de desejos e necessidades determinantes do bem-estar do ser humano (CABRITA, 1990). Assim sendo, mesmo que o acesso à habitação não seja garantia de bem-social, é fato que a falta dela se torna um problema. No Brasil, onde essa situação é particularmente grave, o problema habitacional transcende a esfera pública e se torna fonte de pesquisas tanto nas ciências sociais como na área tecnológica.

Conforme investigação realizada pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2013), no Brasil o problema citado, apesar de ser majoritariamente urbano, também é significativamente presente na zona rural¹. A pesquisa destaca que cerca de 15% das moradias da zona rural apresentam algum problema grave e, dessas, 75% tem a precariedade como componente de maior destaque. Em números absolutos, considerando os habitantes da zona rural do país - aproximadamente 31 milhões -, e o número médio de cinco integrantes por moradia, na zona citada, pode-se afirmar que há um déficit habitacional de 1,5 milhões de moradias na zona rural (MATOS, 2011; CYMBALUK, 2012).

O déficit habitacional se caracteriza como a situação que demanda a execução de habitações. A sua análise é realizada conforme quatro componentes: a) precariedade: quando a moradia é considerada de caráter rústico ou improvisado; b) coabitação: quando as famílias possuem a intenção de se mudar ou residem em cômodos; c) aluguel com mais de três usuários no mesmo quarto; e d) valor do aluguel superior a 30% da renda domiciliar total (IPEA, 2013).

¹ De acordo com a Fundação Getúlio Vargas (1987), é considerada zona rural, quando apresenta: menor densidade demográfica, menor diferenciação social, menor mobilidade social e espacial, índices mais baixos de mudança social, agricultura como ocupação principal, e posse da terra como centro convergente do sistema político-econômico.

Em relação à renda média domiciliar total, sabe-se que a maior parte da população brasileira está inserida na faixa de até quatro salários mínimos (IBGE, 2014). Adotando-se o critério de 30% da renda domiciliar no cálculo do déficit habitacional (conforme sugerido pelo IPEA), tais famílias disporiam aproximadamente de um salário mínimo para a construção da casa própria ou pagamento de aluguel. Em valores atuais, isso representa R\$ 724,00. No entanto, enquanto a renda *per capita* da população brasileira é de R\$ 783,00, a da população rural é de R\$ 303,30, ou seja, aproximadamente 39% da *per capita* nacional (WEISSHEIMER, 2012; MOREIRA, 2013).

Na zona rural o cenário do déficit habitacional – incluindo também a denominada classe média – é agravado, entre outros aspectos, devido à dificuldade de acesso às tecnologias relacionadas aos materiais de construção, ao conhecimento técnico, aos recursos financeiros oriundos de financiamentos, e a ausência de políticas públicas acessíveis. Ou seja, a situação habitacional na zona rural está basicamente vinculada às questões como o custo – material e mão de obra – e o grau de dificuldade da técnica construtiva utilizada (VALLE, 2011).

Em relação aos materiais de construção, ao analisar as disponibilidades nas regiões interioranas, constata-se que no Brasil não se explora adequadamente a produção de madeira oriunda de atividades silviculturais (INO, 2009). Especificamente no Espírito Santo, do total de 1.101.094 habitações particulares permanentes, aproximadamente 98% utilizam o bloco cerâmico como principal material de construção, e o restante se divide entre madeira (1,28%), taipa de mão (0,28%), palha (0,006%) e outros materiais (IBGE, 2014). Rocha (2010) justifica o fato através da cultura construtiva inserida no período da colonização, em que se valorizava a edificação com outros materiais, e com o preconceito existente, ao associar a madeira ao desmatamento e às construções de baixa durabilidade.

Nesse sentido, para a proposição de sistemas e técnicas construtivas em madeira, adequadas às condições de infraestrutura existentes nas zonas rurais, é importante a criação de parcerias entre o governo e as instituições de ensino e pesquisa para que as linhas de investigação desmistifiquem os “conceitos negativos” da madeira e divulguem as suas qualidades técnicas. Além disso, é importante destacar que a necessidade de elaborar projetos de fácil execução

não exige a proposta de atender as exigências de desempenho, ou seja, o comportamento da edificação em uso, conforme a legislação vigente - NBR 15.575: 2013 Edificações habitacionais – Desempenho (ASSOCIAÇÃO..., 2013). Ao adotar o conceito de desempenho desde a etapa projetual, se proporciona o incremento de qualidade ao edifício, visto que possibilita a identificação das exigências humanas e das possíveis ações externas sobre a edificação, evitando a insatisfação do usuário e o custo maior de manutenção (OLIVEIRA, 2009).

Observa-se, ainda, que as características da população rural no Brasil, e mesmo no Espírito Santo, são bastante diversificadas, seja em seus hábitos, seja pelas facilidades e dificuldades regionais. Dessa forma, as soluções para minimizar o déficit habitacional não podem ser obtidas de uma única maneira, visto ser desejável que sejam atendidas tanto os aspectos essenciais da habitação, mas, também, as peculiaridades locais, incluindo aspectos culturais da população alvo.

Perante o panorama descrito, o desenvolvimento da tese considera como principal questionamento: é possível que moradores da zona rural vinculados à produção madeireira, com limitações de diversas ordens – econômicas, educacionais, sociais, de infraestruturas, geográfica, dentre outras – executem suas moradias com um sistema construtivo em madeira com menor custo, e que atenda aos requisitos de segurança estrutural exigidos pela normativa vigente?

Baseado nessas considerações, esta tese apresenta a avaliação de adequabilidade, exequibilidade e desempenho estrutural de um módulo de vedação vertical em madeira, denominado *Quarter Log*, tendo como recorte territorial, o município de Jaguaré, localizado no Estado do Espírito Santo/ Brasil, cujas características básicas são apresentadas na tabela 1, com o objetivo de facilitar o entendimento sobre o local de estudo.

Tabela 1 – Características básicas do Brasil, Espírito Santo e Jaguaré

	BRASIL	ESPÍRITO SANTO	JAGUARÉ
ÁREA	8.515.692,27 km ²	46.095,583 km ²	659,751 km ²
POPULAÇÃO TOTAL	202.768.562,00	3.885.049,00	24.678,00
POPULAÇÃO RURAL	31.000.000,00 aproximadamente	644.919,134	9.624,42
CLIMA	Tropical, Equatorial, Semi-árido, Subtropical, Tropical Atlântico e Tropical de Altitude	Tropical Atlântico	
ECONOMIA	Setor terciário: serviços e comércio de produtos		Setor primário: agricultura e pecuária

Fonte: IBGE (2014); LAMBERTS et al (acesso 05 jan. 2015); IJSN (acesso em 09 jan. 2015)

Observa-se que, dado as dimensões do território nacional, as características geográficas e, principalmente, climáticas são bastante diferenciadas, interferindo tanto no desenho arquitetônico das habitações como, também, no uso de material construtivo local.

O módulo para vedação proposto foi avaliado em relação à facilidade de execução, às características projetuais para o uso da madeira como matéria prima, e em relação ao desempenho. Os critérios de desempenho foram definidos de acordo com a norma vigente no país, a NBR 15.575: 2013 Edificações habitacionais – Desempenho (ASSOCIAÇÃO..., 2013), considerando o necessário recorte em função da infraestrutura disponível para a realização dos ensaios. Em síntese, a norma prevê a análise nas seguintes etapas: de projeto (segurança no uso e na operação, estanqueidade e durabilidade); e na execução do protótipo (segurança estrutural e estanqueidade). Cabe ressaltar que, no Brasil, a avaliação de risco sísmico é exigida somente para grandes obras como hidrelétricas, barragens de rejeito e grandes fábricas de nanotecnologia, visto que o país é definido como uma área não perigosa em relação ao risco sísmico (LOPES; NUNES, 2011).

O desenvolvimento da pesquisa em questão trata-se, efetivamente, de uma evolução dos estudos e publicações realizados durante a dissertação desenvolvida no Mestrado, cujos resultados demonstraram o potencial de expansão do uso da madeira na construção civil no meio rural, por meio da redução de custo e facilidade de execução, dada a disponibilidade da planta na região concomitante ao déficit habitacional existente na zona rural.

1.1. Formulação do Problema

A preocupação relacionada ao desenvolvimento com bases sustentáveis tem acarretado, dentre outros aspectos, discussões e inquietudes sobre o acesso global à qualidade de vida. A habitação, dentre as diversas necessidades sociais valoradas, decerto encontra-se entre os direitos vitais para o homem, justificando

a sua regulamentação em âmbito nacional e internacional, com o intuito de garantir, independente da localização, esse benefício.

É importante ressaltar que o conceito de desenvolvimento sustentável considera aspectos ambientais, econômicos e sócio/culturais e baseia-se, minimamente, nessas três dimensões, orientando uma política ambientalmente correta, socialmente adequada e economicamente viável, através do crescimento, desenvolvimento e produtividade, as quais são denominadas como “tripé da construção sustentável” (CSILLAG e JHON, 2008, p. 4).

A Organização das Nações Unidas (ONU), desde 1948, adotou o direito à habitação, por meio da Declaração Universal dos Direitos do Homem (art. 25º), que instituiu a todos o direito à saúde, ao bem estar, à alimentação, ao vestuário e à moradia (FERRAZ, 2007). Ainda de acordo com Ferraz (2007), esse tema também é abordado por vários outros documentos em esferas internacionais, dentre eles, no art. 5º da Convenção sobre todas as Formas de Discriminação Racial (de 21/12/1965 e ratificada pelo Brasil em 27/03/1968); no art. 11º, do Pacto Internacional sobre Direitos Econômicos, Sociais e Culturais (16/12/1966 e ratificado pelo Brasil em 06/07/1992); no art. 26º, do Pacto de San José da Costa Rica (22/11/1969 e ratificada pelo Brasil em 25/09/1992); na Declaração sobre Assentamentos Humanos de Vancouver (1976); no art. 14º da Convenção sobre a Eliminação de todas as Formas de Discriminação contra a Mulher (18/12/1979 e ratificada pelo Brasil em 01/02/1984); nas proposições da 2ª Conferência sobre Assentamentos Urbanos, HABITAT II (1986), realizada em Istambul; no art. 27º, da Convenção sobre os Direitos da Criança (20/11/1989 e ratificada pelo Brasil em 20/09/1990); e na Agenda 21 (1992).

Ferraz (2007) cita, ainda, que no Brasil até o ano 2000, o direito à moradia estava implícito no art. 7º inciso IV da Constituição Federal, que o descreve como “um direito do trabalhador urbano e rural”. Somente a partir da Emenda n. 26, de 14/02/2000, com a alteração do art. 6º, da Magna Carta, é que a habitação foi incluída nos itens de direito social, sendo explicitado que “são direitos sociais a educação, a saúde, o trabalho, a moradia, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados na forma desta Constituição”.

A fundamentação conceitual a respeito da definição e importância da habitação na sobrevivência humana permite conhecer e analisar o ponto de vista de vários pesquisadores sobre o assunto, dentre eles, Bolaffi (1972), Abiko (1995) e Santos (1999), que a definem, em linhas gerais, como um requisito basal de sobrevivência, juntamente com a alimentação e o vestuário, considerando-a como requisito de proteção.

Fernandes (2003) faz uma abordagem abrangente sobre o tema e defende que a habitação influencia diretamente nas áreas social, ambiental e econômica – cumprindo a função de abrigar, desde que atenda aos requisitos básicos de habitabilidade, segurança e salubridade – assegurando, teoricamente, infraestrutura básica do entorno com a sua implantação (saúde, educação, transporte, etc.) e gerando emprego com a sua execução.

De acordo com Izique (2012), até 1950, 64% da população brasileira residia em áreas não urbanas, sendo assim, considerando que não ocorreu nenhuma modificação significativa nos últimos dois anos, o Brasil é considerado um país basicamente rural. Esse cenário, submetido aos efeitos do período industrial (entre 1950 e 1970), sofreu perceptível alteração principalmente com a migração dos trabalhadores rurais para os grandes centros (NEAD, 2000).

O panorama descrito agravou-se devido à pouca atenção dada às zonas rurais em relação à saúde, educação, transporte, crédito, habitação, entre outros (MARICATO, 2001). Uma pesquisa realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2014, constatou que, 15,17% da população brasileira residem na zona rural – aproximadamente 31 milhões de pessoas –, sendo que desse montante, cerca de 7,6 milhões vivem em situação de extrema pobreza, ou seja, possuem renda mensal igual ou inferior a R\$ 70,00 (PNAD, 2012).

Apesar do problema habitacional, independente da localização, ser um tema extremamente complexo envolvendo aspectos econômicos e políticos (FOLZ, 2003), esta investigação não se refere à identificação e análise de suas causas, considerando que se pretende com a pesquisa é a obtenção de um produto que auxilie na redução das consequências geradas, voltado para uma população rural específica, ou seja, de abrangência restrita para a resolução do problema.

No entanto, deve ser mencionado que Haas e Hillig (2010), Santos (2010) e Maia (2011) afirmam sobre a necessidade de políticas públicas que estimulem o desenvolvimento no meio rural, de maneira que estas mitiguem o processo migratório, ao oferecer qualidade de vida aos moradores da região. A Habitare (BRASIL, 2005) cita que, apesar do Banco Nacional da Habitação (BNH) ter sido falho em diversos pontos, desde a sua extinção em 1988 o número de moradias de interesse social financiadas no país tem sido escasso diante da demanda existente, caracterizando um déficit habitacional de quase oito milhões de moradias (MOREIRA FRANCO, 2012).

A política habitacional executada pelo BNH buscou facilitar o acesso à moradia pelas distintas classes sociais, priorizando as famílias de baixa e média renda. Os recursos foram viabilizados pelo Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE) e pelo Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS - CEF, 2011).

No entanto, o déficit habitacional rural atualmente destaca-se com aproximadamente 1,5 milhões de unidades, número proporcional à população residente nas regiões interioranas, observando-se que, desde a primeira versão do programa habitacional, a moradia rural é abordada de maneira diferente, obtendo menos de 2,0% do subsídio total e valor unitário por moradia significativamente inferior ao da política de habitação social urbana, ou seja: R\$ 15.000,00 para o imóvel rural e até R\$ 52.000,00 para o urbano, para proprietário com rendimento na faixa de zero a três salários mínimos (SERTORI, 2012).

Em uma breve observação nas moradias localizadas na zona rural do Espírito Santo, é possível constatar o caráter de precariedade de grande parte das unidades, conforme exemplificado na Figura 1. Ressalta-se que o problema habitacional não é motivado apenas pela dificuldade de acesso a esse direito, mas, também, pela situação imprópria das moradias existentes, sendo possível diagnosticar que inúmeras residências estão abaixo do mínimo requerido em relação às necessidades dos usuários propostas pela NBR 15.575: 2013 – segurança, habitabilidade e sustentabilidade² (ASSOCIAÇÃO..., 2013).

² Requisitos: Segurança – segurança estrutural; segurança contra o fogo; segurança no uso e na operação. Habitabilidade – estanqueidade; desempenho térmico, acústico e lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico. Sustentabilidade – durabilidade; manutenibilidade; e impacto ambiental (ASSOCIAÇÃO..., 2013).

Figura 1 - Exemplo de habitação rural em precárias condições de habitabilidade. Em (a), vista geral da edificação com destaque para o armazenamento na residência de ferramentas e produtos de uso no campo; em (b), detalhe de instalações hidráulica e elétrica precárias; e em (c), dimensionamento insuficiente dos vãos para a ventilação do ambiente.



(a)



(b)



(c)

Fonte: a autora.

Nota-se que as más condições das habitações existentes na zona rural não estão somente relacionadas ao déficit habitacional nessa região, mas também ao alto custo da construção civil, devido principalmente à dificuldade de acesso à infraestrutura necessária para execução; à ausência de políticas públicas eficientes, ou mesmo ao baixo poder aquisitivo de grande parte dessa população. Também é perceptível o pouco investimento em pesquisas ou mesmo políticas públicas voltadas para a questão da habitação rural, sendo necessário estimular a realização de investigações que contribuam e proponham soluções que auxiliem na resolução do problema relatado.

Conforme mencionado anteriormente, embora a população rural esteja englobada em um mesmo grupo, há diferenças fundamentais nas necessidades e expectativas da mesma, relacionadas principalmente à sua fonte de subsistência, ou seja, a casa do agricultor não tem que ser igual à casa do pecuarista e, a essas diferenças somam-se ainda os aspectos culturais, principalmente quando se considera sua origem, como no caso dos descendentes dos imigrantes italianos e alemães, bastante comum na área rural do Espírito Santo (OLIVEIRA,

2008). Nesse sentido, o desenvolvimento de sistemas construtivos acessíveis e adequados à cultura da população alvo deve ser observado no desenvolvimento de possíveis soluções tecnológicas ou políticas de incentivo.

1.2. Justificativa

Duprat (1960) define a moradia como componente indispensável aos trabalhadores rurais, visto que os mesmos a relacionam com a terra, local de cumprimento das atividades de sustento. Costa e Mesquita (1978) citam que ao executar a casa, o morador expressa o padrão econômico e a condição sociocultural a que pertence, através da utilização de materiais disponíveis na natureza e das técnicas construtivas conhecidas.

Abramovay (1999) e Maia (2011) defendem que as políticas públicas devem ser embasadas na execução de novas habitações que estimulem a relação entre diferentes realidades e potencializem a utilização de atributos oferecidos nessas regiões. Ou seja, os materiais locais devem ser identificados, assim como a infraestrutura disponível e a condição de participação da comunidade no decorrer do processo (MAIA, 2011).

Santos (2010) complementa a informação ao citar que devido à quantidade de recursos destinados a este fim serem insuficientes, deve-se investir na busca de estratégias que sejam adequadas à situação específica da localidade, dentre elas o emprego de materiais e técnicas familiares à população local.

Em relação aos materiais disponíveis no Brasil, observa-se que o País é recordista no cultivo da madeira de reflorestamento, principalmente devido às condições climáticas favoráveis, sendo o *Eucalyptus* o gênero de maior destaque (BOTREL et al., 2007). De acordo com o anuário estatístico da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF), em 2011 a área ocupada por plantações de *Eucalyptus* e *Pinus*, chegou a 6.515.844 alqueires, sendo 74,8% correspondente à área de *Eucalyptus*, totalizando 4.873.952 alqueires, representando crescimento de 2,5% (119.617 alqueires) em relação ao indicador de 2010 (ABRAF, 2012).

Melo e outros (2002) citam que algumas experiências utilizando a madeira para a execução de habitações já foram realizadas no País, sendo o Estado do Acre considerado pioneiro, com a construção de 600 casas, no município de Rio Branco, no final da década de 80 do século passado. Os autores destacam também o Programa Morar Conscientizar, que utilizou madeira de rejeito comercial para executar 300 unidades em Cuiabá/MT no ano de 1996, objeto de estudo de Adrião (2011), ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Etapas de produção e montagem das habitações, através do Programa Morar Conscientizar. Em (a) o processo de secagem das peças; em (b) a etapas de preparação dos componentes; em (c) o início de montagem da edificação e, em (d) a edificação finalizada.



(a)



(b)



(c)



(d)

Fonte: Ino (2009).

É importante mencionar o trabalho realizado pelo Projeto Inovarural, executado entre os anos de 2004 e 2007, pelo Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade (HABIS), desenvolvido por professores da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo (USP) e da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

O grupo buscou inovar o processo, a gestão e o produto na execução de habitações rurais, através da participação das famílias nas etapas de fabricação de componentes e na execução das casas, assim como pela utilização de

materiais disponíveis na região, dentre eles, a madeira. De acordo com Melo e outros (2002), a matéria prima principal é o componente de maior valor para a efetivação de moradias em madeira, e esse custo pode ser minimizado com a utilização de espécies oferecidas pela região de inserção da casa.

Considerando o exposto, pode-se afirmar, em síntese, que o déficit habitacional rural é uma realidade brasileira cuja resolução passa, além de outros fatores, pela adoção de diretrizes que considerem o potencial de matéria prima local. Nesse sentido, justifica-se o desenvolvimento de projetos que utilizem como sistema construtivo, o material disponível na região e que seja –, caracterizado pela facilidade de execução e pelo atendimento às exigências dos usuários, motivando a utilização do *Eucalyptus grandis* cultivado na região, na forma roliça, para a construção civil habitacional rural.

1.3. Contribuição da Pesquisa

O propósito e, conseqüentemente, a contribuição dessa pesquisa se enquadra entre as classificações de pesquisa aplicada e pesquisa avaliativa, conforme o conceito de Patton (1990). O primeiro, por propor um sistema construtivo que objetiva atenuar o problema social de habitação rural no interior do Espírito Santo; e o segundo, por avaliar a efetividade da proposta, não como solução do problema social de habitação rural que extrapola o escopo desta tese, mas do ponto de vista técnico, em relação à comprovação de exequibilidade com a infraestrutura disponível na região de estudo e atendimento aos aspectos de segurança estrutural conforme estabelece a norma de desempenho para habitações vigente no Brasil, a NBR 15.575:2013.

É importante destacar que a contribuição técnica oferecida por esta tese também se estrutura a partir do aporte da **sustentabilidade** buscando oferecer um produto com efetiva **contribuição social**, apresentando um resultado caracteristicamente relacionado ao conceito de **inovação**.

A crise ambiental tem provocado mudanças que envolvem a ciência e a tecnologia alcançando, inclusive, os processos projetuais e construtivos (BISSOLI

et al., 2011). Nesse sentido, a prudente seleção de materiais contribui para o desenvolvimento de projetos menos nocivos ao meio ambiente por considerar aspectos que envolvem a extração das respectivas matérias primas, os processos de beneficiamento e transporte, e até seu uso e destino final, dando prioridade tanto para os fatores ambientais, quanto para as características que visam o desenvolvimento da sociedade e da economia (OLIVEIRA, 2009; DREYER, HAUSCHILD e SCHIERBECK, 2006).

Atualmente, os produtos são idealizados, usados e, quando deixam de atender a função destinada, são descartados no meio ambiente, normalmente formando resíduos que poluem o solo, o ar e a água. Thomsen, Schultmann e Kohler (2011) destacam a escassez de pesquisas científicas direcionadas a reutilização desses componentes, mesmo diante de influências quantitativas e qualitativas no meio ambiente.

Motta e Aguilar (2009) citam a necessidade de mudança no modo de explorar os recursos naturais e, também, de buscar por melhorias que impulsionem soluções socialmente justas. Nesse sentido, é possível adotar um modelo de produção e consumo que colabore para o alcance de coeficientes de desenvolvimento aceitáveis e que estimule a preferência por materiais com bases sustentáveis (CALMON, 2007).

A preferência por materiais passíveis de renovação, procedentes de florestas plantadas e com possibilidade de selo ou certificação que garanta a sua origem, colabora significativamente para o desenvolvimento de maneira sustentável, visto que o manejo florestal é um dos pilares da preservação ambiental, em conjunto com a justiça social e a viabilidade econômica. Além disso, o uso de madeira certificada assegura o emprego de componentes com ciclos de menor impacto ambiental em relação à extração e ao transporte do produto (NEBEL et al., 2005; TURK, 2009).

Diante da incontestável finitude de matéria prima básica para a construção civil, a madeira de reflorestamento, além de ser um dos poucos materiais com probabilidades eficazes de formação renovável, também atende ao apelo para a utilização de materiais ditos “racionais”, tanto para produção, quanto no ciclo de vida da edificação (CBCS, 2009). Entende-se que a produção da madeira é “racional”, pois o seu desenvolvimento inicial se baseia na transformação de

substâncias minerais em orgânicas tendo como base somente a utilização da energia solar, processo esse gratuito e livre de poluição.

Em relação à extração e à manufatura, os equipamentos empregados consomem, em geral, menos energia do que nos demais materiais construtivos tradicionais. E, quando parar de atender às funções designadas na edificação, existe a possibilidade de ser queimada para gerar energia, ou retornar a terra como nutriente, através do seu apodrecimento (OLIVEIRA, WAGNER e GROHMANN, 1997; INO, 2009).

Tavares (2006) realizou uma pesquisa sobre a quantidade de energia embutida, através da análise do ciclo de vida de inúmeros materiais de construção, desde a produção, processo, incorporação na obra, e posterior reciclagem. Em sua comparação mais enfática, o valor encontrado para o aço laminado foi $235500\text{J}/\text{m}^3$, enquanto a madeira seca ao ar livre obteve somente $300\text{MJ}/\text{m}^3$, ou seja, a energia embutida no aço é 785 vezes maior do que a energia necessária para a produção da madeira seca ao ar livre. Mesmo quando se compara a madeira entre si – seca ao ar livre e em estufa – e estas com as técnicas em concreto, percebe-se uma relação de consumo energético bastante significativo.

Além disso, cabe ressaltar que, economicamente, o mercado madeireiro está se destacando no País, sendo que os produtos gerados com a indústria da madeira correspondem a aproximadamente 4% do PIB nacional (ALMEIDA e BRUNSTEIN, acesso em 18 mar. 2010).

Considerando que os critérios de sustentabilidade obrigatoriamente envolvem os aspectos ambientais e sociais, durante a investigação foi possível entender que a utilização do eucalipto, enquanto material renovável e disponível em inúmeras regiões do Brasil, quando vinculado a uma técnica construtiva não industrializada, pode ser uma importante alternativa para a habitação rural.

A proposta de um módulo para vedação vertical em madeira roliça para atender, principalmente, os moradores das regiões interioranas do Espírito Santo, se justifica principalmente pela familiaridade que os potenciais usuários têm com esse material em contraposição à carência de infraestrutura tecnológica para a produção em série de elementos industrializados.

Em síntese, esta pesquisa apresenta um módulo para vedação vertical em madeira, adequado às exigências de segurança estrutural, conforme a legislação vigente, que ao ser comparado com o sistema convencional em tora, pode ser executado com as ferramentas básicas de marcenaria, com mão de obra somente qualificada (não especializada), com menor quantidade de madeira e, conseqüentemente, menor custo financeiro e ambiental.

1.4. Hipótese e Objetivos

1.4.1. Hipótese

Diante do cenário apresentado, a hipótese da investigação considera que é possível desenvolver um sistema construtivo em madeira – *Eucalyptus grandis* –, de menor custo e direcionado para habitação na zona rural do Espírito Santo, a partir de peças não industrializadas e de fácil manejo, mínima necessidade de mão de obra especializada e que atenda às exigências de segurança estrutural definidas na norma de desempenho vigente no Brasil, a NBR 15.575: 2013.

1.4.2. Objetivo Geral

A pesquisa objetiva, através do desenvolvimento de um módulo para vedação vertical, oferecer uma alternativa de sistema construtivo para habitação rural no Espírito Santo, através do uso de matéria prima local – o *Eucalyptus grandis* na forma roliça –, considerando como premissas fundamentais a necessária facilidade de execução, a mínima utilização de mão de obra especializada e o menor custo.

1.4.3. Objetivos Específicos

Para o alcance do objetivo principal, foram traçados três objetivos específicos, conforme a seguir detalhado:

- a) Definir os condicionantes de projeto e os critérios de avaliação para o módulo proposto, de acordo com a fundamentação conceitual e a realidade tecnológica do local de estudo;
- b) Desenvolver o módulo e avaliar a exequibilidade local, através da construção de protótipos; e
- c) Avaliar a adequabilidade do módulo em relação aos condicionantes projetuais, à segurança estrutural, bem como pelo levantamento de custos para estudo comparativo com um sistema semelhante.

Nesse sentido, a metodologia de pesquisa utilizada foi cumprida em três etapas: Etapa 1 – formulação do problema, delimitação do local de uso e aplicação, caracterização do público alvo, pesquisa de aceitabilidade da madeira, levantamento da infraestrutura local, e desenvolvimento do referencial conceitual e estado da arte; Etapa 2 – desenvolvimento do projeto, execução dos protótipos, avaliação das etapas de montagem, e análise de custo; e Etapa 3 - avaliação de desempenho do projeto, avaliação de desempenho dos protótipos e análise dos resultados.

Todas as etapas do trabalho foram desenvolvidas com o apoio do Laboratório de Planejamento e Projetos e do Laboratório de Materiais, da Universidade Federal do Espírito Santo, com o auxílio de professores e profissionais especializados na área. Para a execução dos protótipos, a madeira utilizada foi oriunda de doações e os complementos foram adquiridos com recursos particulares.

A estrutura de apresentação está composta pelos seguintes itens:

INTRODUÇÃO: apresenta a contextualização do tema, a formulação do problema, a justificativa, a contribuição da pesquisa, a hipótese formulada e os objetivos.

REFERENCIAL TEÓRICO: aborda a utilização da madeira de reflorestamento na construção civil, focando especialmente o eucalipto; os principais sistemas

construtivos em tora; e conceitua a avaliação de desempenho para novos sistemas construtivos.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS: descreve as etapas metodológicas cumpridas para o desenvolvimento da investigação.

RESULTADOS ALCANÇADOS: apresenta os dados obtidos na pesquisa de aceitabilidade da madeira; o projeto da vedação vertical *Quarter Log*; descreve as avaliações realizadas em relação ao custo, ao projeto e na execução dos protótipos; e aborda os dados coletados na avaliação de segurança estrutural dos protótipos.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS: apresenta e discute os resultados alcançados na avaliação do sistema proposto, enquanto projeto e protótipo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: refere-se às conclusões obtidas com a finalização da pesquisa e propõe possíveis temas para pesquisas futuras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS: lista os títulos consultados e citados no texto.

APÊNDICE: inclui o questionário aplicado junto aos prováveis usuários, formulado para avaliar a aceitação da madeira como material de construção; o projeto arquitetônico de uma residência unifamiliar, empregando o módulo de vedação vertical proposto; alternativas de emprego do módulo proposto em diferenciadas soluções arquitetônicas; o cálculo relacionado ao parâmetro de avaliação para o ensaio de compressão axial simples; e a caracterização das exigências de desempenho definidas pela norma vigente.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Considerando a hipótese de trabalho e os objetivos definidos, identificou-se a necessidade de definição do referencial conceitual de suporte à pesquisa em dois assuntos fundamentais: uso da madeira na construção civil e avaliação de desempenho. Este capítulo aborda os aspectos inerentes à madeira, com ênfase para a madeira roliça e para os assuntos pertinentes ao eucalipto e, considerando a necessidade de avaliação de desempenho do sistema proposto, são explicitados os conceitos que nortearam o processo de pesquisa.

2.1. A Presença da Madeira roliça na Arquitetura para Habitação

Ao estudar a história da Arquitetura é possível perceber que o uso milenar da madeira na construção civil determinou um acúmulo de conhecimento pela humanidade que acompanhou toda a evolução da moradia. Ao longo das descobertas, cada civilização, de acordo com a espécie de árvore e de materiais disponíveis, adequou-a as suas necessidades.

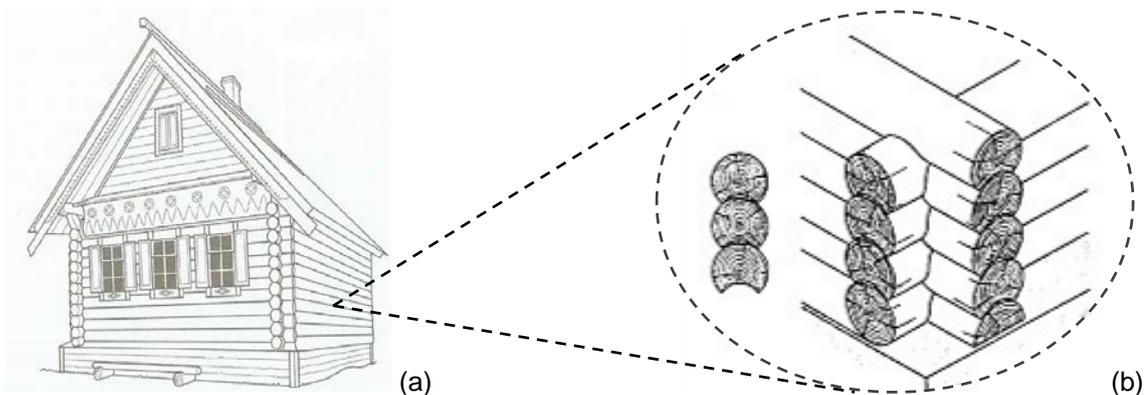
Após a Revolução Industrial a utilização da madeira nas construções sofreu um declínio, devido ao surgimento do aço. No entanto, países como Estados Unidos e Canadá, possuidores de grandes reservas de florestas, impulsionaram a sua utilização em escala industrial. Com a fabricação industrial de pregos e a ativação de serrarias com máquinas a vapor, tornou-se possível otimizar o modo de uso da madeira na construção civil, inclusive em processos com maior rapidez de execução.

Como exemplo desse aprimoramento, pode ser citado o sistema *Ballon Framing*, caracterizado por edificações leves e paredes autoportantes de madeira serrada, que passou a se chamar *Platform Construction*, devido às mudanças tecnológicas para atender a execução de habitações populares (MEIRELLES et al., 2007).

De acordo com May (2011), as propriedades estruturais da madeira flexibilizam a sua forma de utilização na construção a partir do conhecimento local e, conseqüentemente reduz o custo de execução da moradia. Nos exemplos de obras citados pelo autor é possível perceber a predominância da madeira serrada, mas, também a significativa utilização da madeira em tora.

Na Rússia, dentre os usos da madeira, está a construção da casa de campo. Conhecida como *Isba Rusa*, os troncos empilhados se cruzam nas extremidades da edificação e para a preparação são utilizadas somente as ferramentas disponíveis no local, como o facão. A interligação das peças é feita por encaixes, devido ao alto custo do metal (Figura 3).

Figura 3 - Em (a), construção *Isba Rusa*, com toras sobrepostas e em (b), detalhe de encaixe entre as toras

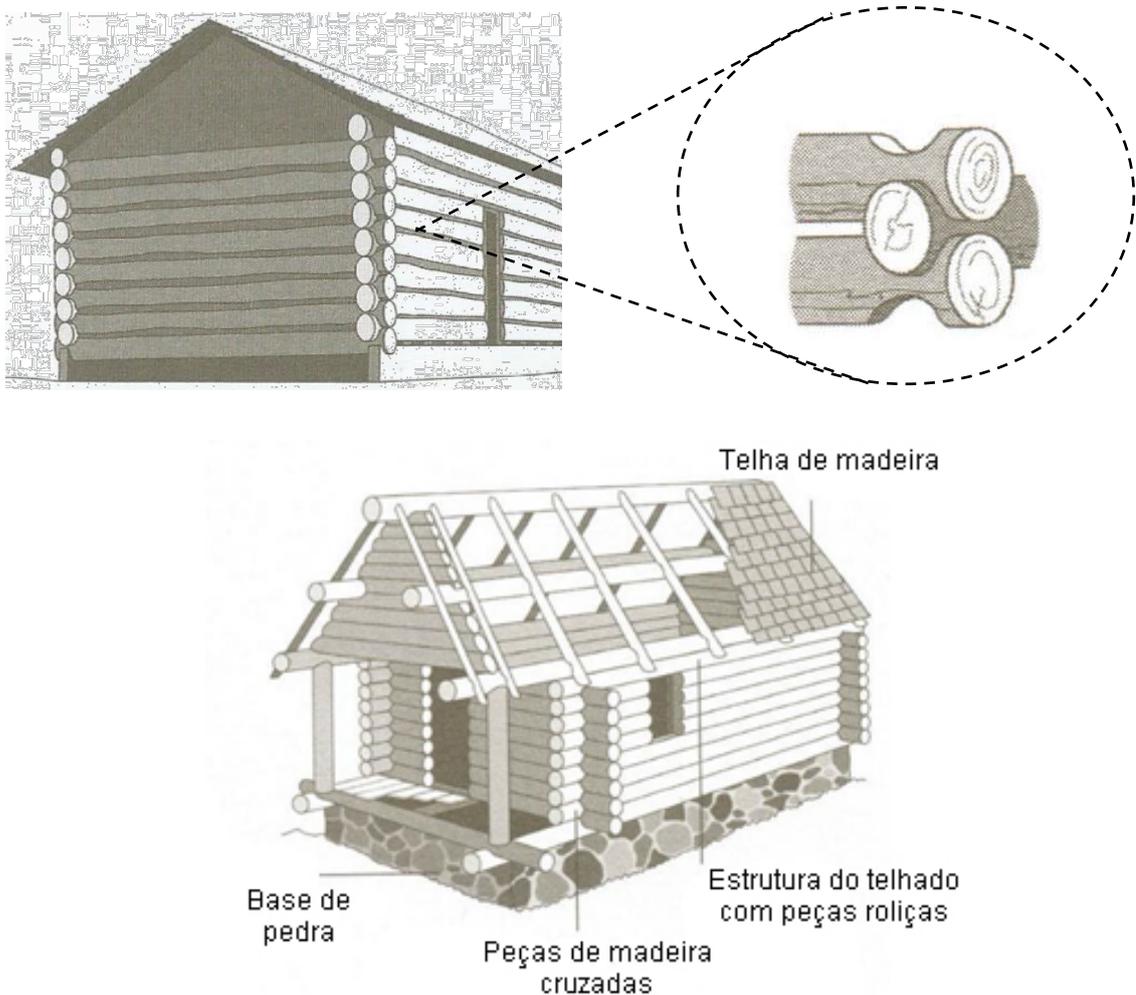


Fonte: Elaborado a partir de May (2011) - (a) e Calil Junior; Brito (2010) – (b).

A utilização de troncos sobrepostos também ocorre em moradias norte-americanas, as quais são dimensionadas conforme o tamanho e a quantidade de árvores disponíveis para a execução. Apesar da realização de encaixes nas peças para facilitar a ligação entre elas, o clima com baixas temperaturas gera a necessidade de vedar a habitação. Inicialmente as frestas eram cobertas com

restos de madeira, mas com a evolução da técnica, as costaneiras passaram a ser retiradas favorecendo o encontro das toras. Outra preocupação é a preservação da madeira em relação ao contato com a umidade. Nesse sentido, os norte-americanos constroem a moradia sobre uma base de pedra, para evitar que a umidade do solo entre em contato com as peças de madeira (Figura 4).

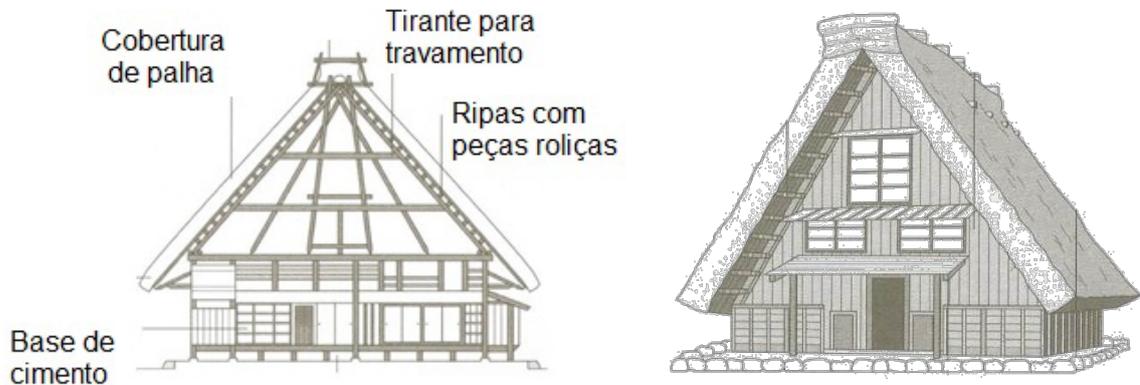
Figura 4 - Na figura superior, aspecto geral da moradia norte-americana de toras sobrepostas com detalhe de encaixes. Na figura inferior, esquema construtivo apoiado em base de pedras



Fonte: May (2011).

Na execução da *Minka Japonesa* são utilizados materiais disponíveis na região, dentre eles a madeira, presente na estrutura da edificação. Denominada também como “casa da gente”, é construída em áreas urbanas e rurais e atende tanto ao chefe do povoado como ao grupo de menor condição financeira (Figura 5).

Figura 5 - Na Figura da esquerda, detalhes de execução da Minka Japonesa e na direita, aspecto geral da edificação

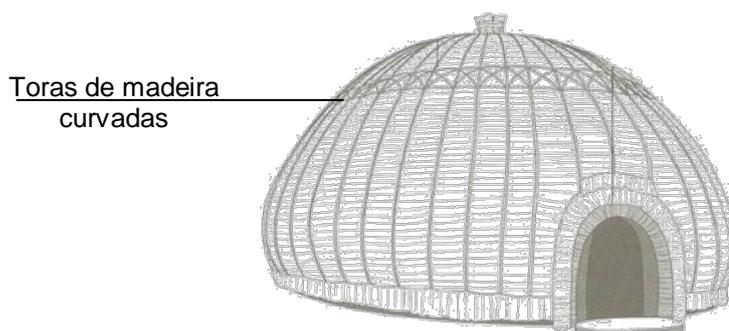


Fonte: May (2011).

Uma característica importante dessa edificação é a possibilidade de desmonte e remonte em outro local (HIJIOKA, JOAQUIM e INO, 2013). Na edificação japonesa também é possível perceber a existência de uma base de concreto sobre a qual a moradia é executada, porém nesse caso, as peças de madeira são cravadas na mesma.

Na África as estruturas populares são consideradas pela população como requintadas e elegantes esteticamente, assim como “engenhosa” em relação à técnica construtiva. Os *Indlus*, também chamados de *Izingtungo*, são caracterizados pelo formato de um anel, através do cruzamento de troncos de árvores (com pequeno diâmetro) curvados e sustentados por pilares internos (Figura 6) – (MAY, 2011).

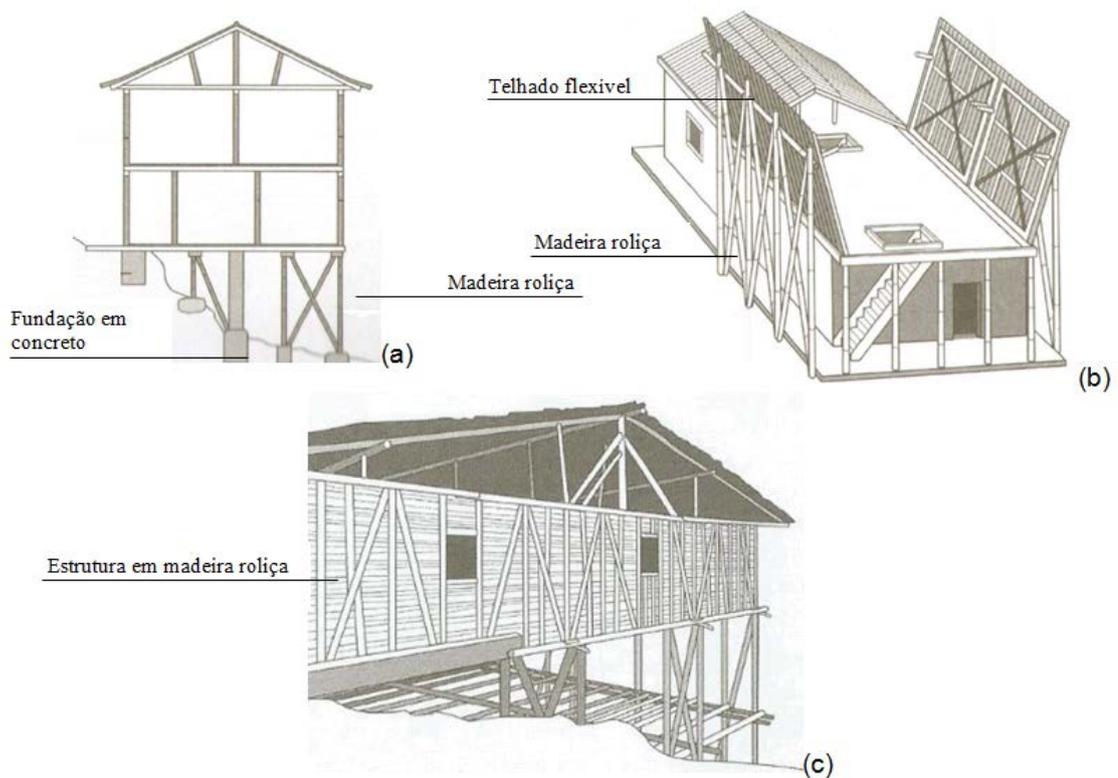
Figura 6 - *Indlu* africano, estruturado com peças roliças curvadas



Fonte: May (2011).

Pensadas para se adaptarem aos inúmeros condicionantes, dentre eles a variação topográfica do local, as habitações conhecidas como *Paisa*, na Colômbia, utilizam a madeira como material de construção, combinada com o bambu e o adobe. A técnica construtiva usada é chamada de *bahareque* e permite a execução de até cinco pavimentos, sendo a edificação capaz de suportar os abalos causados por terremotos. Outra característica interessante é a flexibilização da cobertura, sendo essa passível de abertura para que o processo de secagem dos grãos de café possa ser realizado na laje da edificação, conforme demonstrado na Figura 7 (MAY, 2011).

Figura 7 - *Paisa* colombiana, sendo em (a), corte transversal; em (b), detalhe de flexibilização do telhado; e em (c), vista externa da edificação



Fonte: May (2011).

No Brasil a madeira não é utilizada para a construção de habitação com a mesma frequência que o concreto e o aço, porém, a sua presença é perceptível em moradias populares em várias regiões, as quais são executadas conforme o conhecimento local. Na região Nordeste, encontra-se a madeira roliça sendo utilizada na estrutura das edificações, assim como na malha para a execução da

vedação na técnica denominada taipa de mão, que consiste em um sistema caracterizado por paredes maciças, compostas por barro socado (Figuras 8 e 9) - (VASCONCELLOS, 1979).

Figura 8 - Habitação encontrada na região do Nordeste brasileiro, com estrutura em madeira e vedação em taipa de mão



Fonte: Barreto et al. (2010).

Figura 9 - Armação para taipa



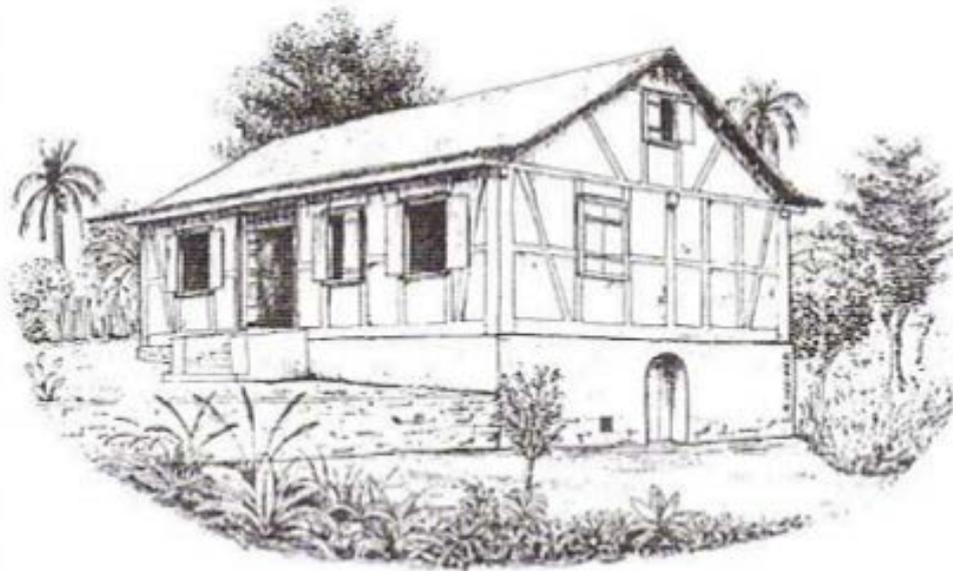
Fonte: Gandino; Silva (2013).

As técnicas descritas também são empregadas no Centro-Oeste brasileiro. Essa região sofreu significativa influencia das técnicas construtivas indígenas, baseadas em produtos florestais, e métodos construtivos paulistas e mineiros,

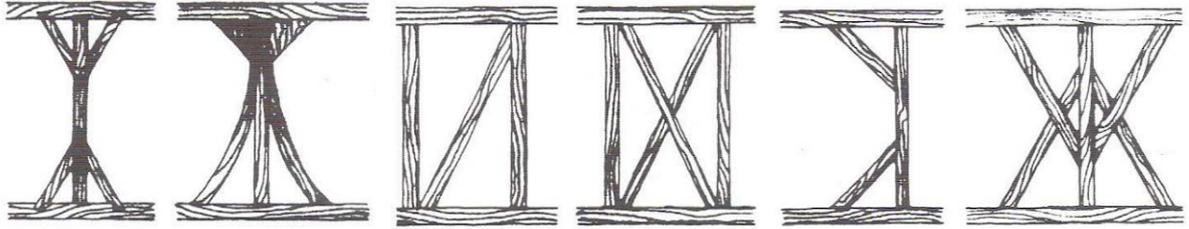
como a taipa de mão. Assim como na região Nordeste, geralmente a madeira é utilizada na estrutura da moradia e na trama para a taipa de mão. Barreto e outros (2010) ressaltam a pobreza dos locais citados e a dificuldade de acesso a outras possibilidades construtivas, fato que justifica a maneira rústica de executar as técnicas empregadas.

As habitações da região Sul empregam materiais, como a madeira e a pedra, por considerarem eficientes perante a variação climática local, sendo algumas técnicas peculiares aos inúmeros métodos construtivos aplicados por imigrantes de diversas etnias. A madeira é usada principalmente no *enxaimel* alemão, construção autoportante, e no *blocause* polonês, com troncos aparelhados e empilhados. Conforme Weimer (2005), o *enxaimel* também é conhecido como “construção em prateleiras” e consiste em uma trama de madeira de peças horizontais, verticais e inclinadas, encaixadas entre si (Figuras 10 e 11).

Figura 10 - Exemplo de construção em *enxaimel*



Fonte: Weimer (2005).

Figura 11 - Exemplos de tipos de encaixe das peças utilizadas no *enxaimel*

Fonte: Weimer (2005).

De acordo com as imagens apresentadas é possível perceber, em alguns exemplos, que a utilização da madeira não segue as especificidades requeridas para a garantia da durabilidade do material, como por exemplo, a proteção das peças em relação à umidade ascendente, que pode ser feito com medidas simples, como o afastamento das peças em madeira do piso. No entanto, representam a versatilidade de uso do material e a contribuição em solucionar o problema habitacional, ao possibilitar o preparo das peças com ferramentas básicas – visto que não exige o auxílio de outros materiais e componentes –, e por não necessitar de mão de obra especializada, já que não é preciso realizar alterações significativas no seu formato original.

2.1.1. Sistemas Construtivos em Madeira Rolixa

A revisão de literatura permite conhecer a definição de diversos autores referenciais sobre o conceito e classificação de sistema construtivo, destacando-se, dentre eles, Bohe (1969), Teixeira Trigo (1978), *Junta de Desenho para Maderas Del Grupo Andino* (1984), Picarelli (1986), Sabbatini (1989) e Martucci (1990), que foram referenciais para outras investigações relevantes na área, tais como as desenvolvidas por Partel (2006); Morikawa (2006); Gava, Ino e Garcia (2008); Barata (2008); Borges (2008); Valle (2011); Salado (2011); Santos (2013), dentre outros.

Ao correlacionar as informações coletadas percebe-se a existência de divergências entre os autores, tanto em relação ao grau de tecnologia empregada quanto sobre a definição de sistema construtivo. Para Sabbatini (1989), o sistema

construtivo está relacionado ao alto grau de industrialização e de organização, sendo composto por elementos e componentes inter-relacionados e associados pelo processo.

No entanto, Picarelli (1986) pondera que o sistema construtivo é definido e classificado conforme os critérios de produção adotados – métodos, processos, tempo e equipamentos –, os quais não devem ser necessariamente industrializados. Martucci (1990) e Jacobo (2004) registram a mesma opinião, e citam que no processo de construção se define as diretrizes projetuais do sistema construtivo, baseado nos condicionantes locais, tais como, materiais e qualificação da mão de obra.

Dentre os critérios de classificação, a literatura apresenta definições baseadas em diferentes contextos. Bohe (1969) considera como critério de classificação dos sistemas construtivos o método da pré-fabricação, independente do material utilizado. Para o autor as construções são agrupadas em quatro tipos:

- a) Construção em entramado ou em esqueleto: formada por esqueleto autoportante, é contraventada por diagonais e possui fechamento em capa dupla ou maciça;
- b) Construção em painéis compostos: as paredes são autoportantes e formadas por painéis sanduíches ou por placas compostas;
- c) Construção com placas maciças: as paredes são maciças, autoportantes e montadas através de guias; e
- d) Construção com peças tridimensionais: as peças volumétricas são completas e com reduzido número de procedimentos para montagem.

Embora seja uma classificação muito antiga, a simplificação dos tipos é clara e facilitam a compreensão dos sistemas. Já Teixeira Trigo (1978) estruturou os critérios de classificação a partir da compilação de informações coletadas no cenário da construção civil portuguesa e alguns materiais de construção. Sua classificação, com critérios mais complexos, foi estruturada nos seguintes sistemas:

- a) Sistemas pesados e com estrutura reticulada:
 - Estrutura moldada em obra

- Estrutura pré-fabricada; e
- Sistema *lifting*: preparado no solo e içado posteriormente.

b) Sistemas pesados com parede estrutural:

- Alvenarias resistentes;
- Estrutura moldada em obra;
- Painéis pesados pré-fabricados; e
- Caixões pré-fabricados.

c) Soluções mistas de construção pesada

d) Sistemas leves:

- Madeira;
- Metal;
- Gesso;
- Plástico; e
- Fibrocimento.

A *Junta de Desenho para Madeiras Del Grupo Andino* apresenta uma classificação específica para sistemas construtivos em madeira a partir das características estruturais e de produção (JUNAC, 1984), ou seja:

a) Sistema vernacular ou artesanal (madeira bruta - toras): permite que o processamento seja executado totalmente na obra, visto que a matéria prima é pouco alterada e se utilizam métodos tradicionais e materiais locais;

b) Sistema semi pré-cortado (peças em tamanhos comerciais): exige mão-de-obra qualificada, ferramentas de carpintaria simples e documentação técnica, considerando que as peças de madeira são direcionadas ao canteiro de obras, cortadas em seções finais, porém os cortes nos comprimentos, rebaxos nas peças e perfurações são realizados *in loco*;

c) Sistema com peças pré-cortadas nas dimensões de uso (semi-industrial): proporciona a fabricação em escala de elementos construtivos, nos quais o gabarito é suficiente para a verificação das dimensões. As peças são fornecidas ao canteiro de obras com as seções, comprimentos, rebaxos e recortes

especificados pelo projeto, sendo identificadas e agrupadas de acordo com o uso. Cabe ressaltar que o sistema exige o fornecimento de projeto detalhado, com a identificação de corte e seção individual das peças para que essas não sejam confundidas na obra;

d) Sistema pré-fabricado parcial:

- Pré-fabricação de painéis: são fabricados em módulos - painéis de forro, piso, parede e estrutura da cobertura - e exigem pouco trabalho e equipamentos em canteiro;
- Pré-fabricação da parede: os acabamentos e instalações podem ser incluídos na fábrica.

e) Sistema tridimensional (pré-fabricação total): poucas etapas são realizadas na obra, tais como a fundação, sendo que a edificação geralmente pode variar de 10 a 50m². Apresenta como desvantagem o alto custo do transporte devido ao grande volume de peças.

É importante citar que as três últimas classificações apresentadas por Junac (1984) são utilizadas normalmente para a madeira serrada, mas não impede que o mesmo seja empregado, também, em sistemas construtivos com madeira em tora. Valle (2011) ressalta que alguns sistemas em madeira não se enquadram numa classificação específica, por incorporarem características de vários sistemas construtivos, independente do formato das peças.

Considerando que cada país define os critérios de classificação dos sistemas construtivos, de acordo com suas particularidades e realidade local, o Quadro 1 apresenta uma síntese dos principais sistemas construtivos, utilizados nos países com uso tradicional da madeira na construção civil habitacional.

QUADRO 1 - SISTEMAS CONSTRUTIVOS UTILIZADOS EM PAÍSES COM O USO TRADICIONAL DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Local	Classificação dos sistemas construtivos			
PAÍSES ANDINOS (JUNAC, 1984)	Entramado		<i>Plataform</i> Global ou Integral	
	Pilar-viga			
	Armadura			
ALEMANHA (GÖTZ, 1995)	Ossadura de madeira	Colombage		
		Pilar-viga (peça simples)	Viga contínua apoiada Pilar contínuo	
		Pilar-viga (peças múltiplas)	Pilar contínuo abraçado pela viga Viga contínua abraçada pelo pilar	
		Nervuras	<i>Baloom frame</i> <i>Plataform</i>	
	Construção com painéis	Pequenos painéis portantes Grandes painéis portantes Elementos espaciais Painéis não portantes		
ARGENTINA (JACOBO e CELANO, 2002)	<i>Tabique lleno</i> ou Maciço			
	<i>Entramado ligero</i> ou esqueleto	Painéis portantes	Americano <i>Plataform</i> <i>Baloom frame</i>	
		Pilar-viga	Viga sobre pilar Viga contra pilar Viga dupla Pilar duplo	
	Painéis ou placas			
CHILE (HEMPEL, 2008)	Tradicional			
	Parede sólida	Roliços Tábuas pregadas Tábuas "atarugadas" Laminado Madeira compensada - tábuas horizontais Painéis ou placas		
		Entramado	Americano <i>Plataform</i> <i>Baloom frame</i> Pilar-viga	
FRANÇA (INO, 1992)	Pilar-viga			
	Ossadura	<i>Baloom frame</i> <i>Plataform</i>		
	Painéis estreitos	Altura simples Altura dupla		
	Painéis largos			
	Módulos tridimensionais			
JAPÃO (INO, 1992)	Convencional <i>Zarai Koho</i>	Tradicional Tradicional simplificado		
	Americano			
	Pré-fabricado	Entramado Painéis Painéis modulares (Kits)		
EUA (INO, 1992)	Entramado	<i>Baloom frame</i> <i>Plataform</i> <i>Móbile homes</i>		
		<i>Log homes</i>		

Fonte: elaborado a partir de Junac (1984); Götz (1995); Jacobo e Celano (2002); Hempel (2008); e Ino (1992).

O levantamento realizado a partir da literatura internacional permitiu a compilação de informações relacionadas às possibilidades construtivas em madeira, considerando a tipologia estrutural e o grau de industrialização. Nesse sentido, confirmou-se a escassez de dados específicos para a utilização da madeira em tora, visto que os sistemas apresentados, em sua maioria, são direcionados para a madeira serrada.

A definição e a classificação dos sistemas construtivos em madeira encontrados na literatura nacional, independente do formato empregado, estão em desenvolvimento, provavelmente devido a tímida utilização do material na construção civil habitacional. Silva e Ino (2008) realizaram um levantamento das construções existentes e as definiram, de acordo com a nomenclatura utilizada internacionalmente (Quadro 2).

QUADRO 2 - SISTEMAS CONSTRUTIVOS UTILIZADOS NO BRASIL

Classificação dos sistemas construtivos		Características
Pilar e viga	Peças simples	O subsistema vedação é independente da estrutura.
	Peças encaixadas	A vedação, em tábuas ou pranchas, é encaixada nos pilares, com formato “H” ou “U”, na posição horizontal e com a união macho-fêmea.
Entramado	Ibérico	As peças são encravadas no solo e revestidas com argamassa.
	<i>Enxaimel</i>	
	Centro-Europeu	A estrutura permanece isolada do solo e as peças de madeira ficam expostas.
	<i>Platform</i>	Os montantes com a altura de um pavimento formam um entramado, sobre o qual se apoia a plataforma de piso.
	<i>Balloon frame</i>	Os montantes são maiores e cobrem dois pavimentos. Neles são fixadas as vigas, nas quais se apoiam o piso.
Painel estrutural		As paredes portantes, transferem as cargas para a fundação. Os painéis de fechamento são aplicados em pisos, paredes e cobertura e têm somente a função de vedar.
Troncos encaixados		São peças roliças e torneadas, encaixadas entre si.

Fonte: Silva; Ino (2008).

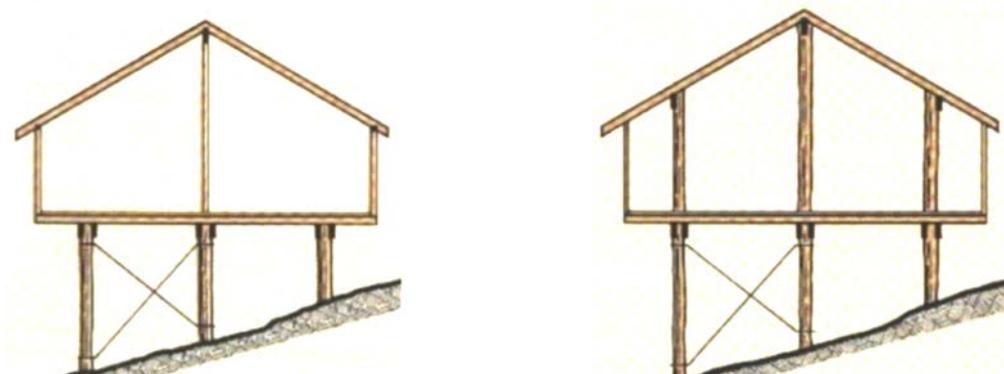
O levantamento sobre os sistemas construtivos em madeira foi extremamente importante para assimilar as inúmeras possibilidades existentes e a adaptação das mesmas à realidade de cada país. Contudo, ao correlacionando os sistemas construtivos citados, com as características específicas descritas e o objeto de estudo da pesquisa em questão – vedação vertical em madeira na forma roliça –, é possível perceber que as opções citadas que se enquadram na referida condição, são: pilar e viga e troncos encaixados. Nesse sentido, com o intuito de priorizar as informações relevantes para o desenvolvimento do sistema em questão, serão detalhadas apenas as alternativas mencionadas.

- **Sistema construtivo pilar-viga**

O sistema denominado pilar-viga caracteriza-se pela possibilidade de independência ou não, entre os subsistemas, estrutura e vedação, quando comparado aos outros sistemas construtivos. Independente do modo utilizado, ele atua de maneira que as cargas sejam transmitidas através das vigas aos pilares e, em seguida, para a fundação (INO, 1992; CALIL JUNIOR, LAHR e DIAS, 2003).

Segundo a Associação Nacional de Indústrias Florestais da Austrália (NAFI, 1989), esse sistema se desenvolveu com duas possibilidades de execução, sendo em plataforma e em construção reticulada (*“frame”*), conforme ilustrado na Figura 12 (CUNHA, 2004). O modo plataforma utiliza a madeira roliça apenas no apoio do piso sobre o qual se constrói as paredes da habitação, sendo que na armação reticulada, os postes são os elementos estruturais que formam uma espécie de trama, com vigas e pilares, dentro dos quais são executadas as paredes de vedação sem função estrutural, independente do material utilizado.

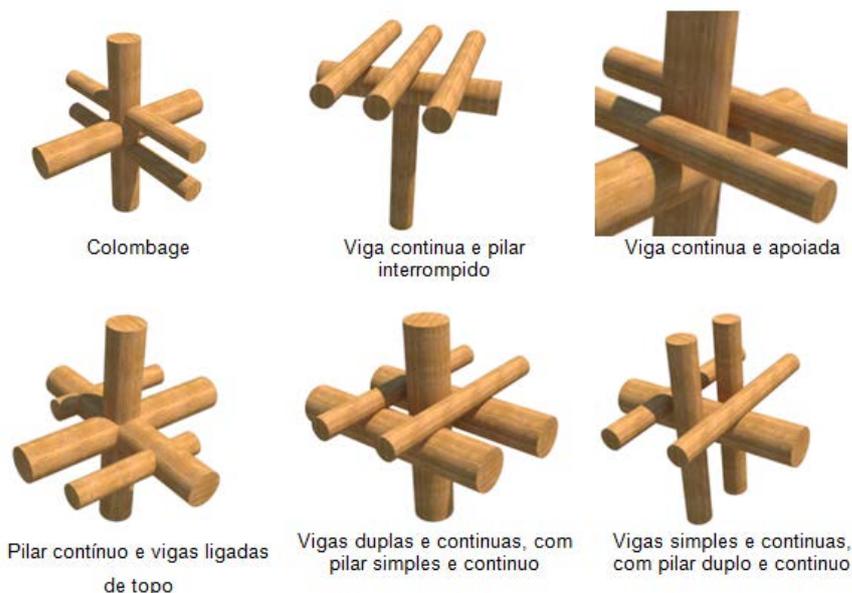
Figura 12 - À esquerda, sistema Plataforma e à direita, sistema reticulado



Fonte: Cunha (2004).

Conforme Götz (1995), dentre os países Europeus que utilizam este sistema, a Alemanha se destaca pelo desenvolvimento de diferentes técnicas de execução, principalmente nas décadas de 1970 e 1980, tais como o *colombage*; a viga continua e o pilar interrompido; a viga continua e apoiada; o pilar contínuo e vigas ligadas de topo; as vigas duplas e contínuas, com pilar simples e contínuo; e as vigas simples e contínuas, com pilar duplo e contínuo, que apesar de serem usados originalmente com a madeira serrada, são adaptados para a madeira em tora (Figura 13).

Figura 13 - Exemplo de encaixes pilar e viga, utilizados na Alemanha



Fonte: Adaptado de Ino (1992).

No Chile, o sistema possui duas diferentes maneiras de apoio dos pilares nas fundações – articulado e embutido (Figura 14) –, devido às oscilações sísmicas existentes na região. Além disso, também se diferencia em relação ao encaixe pilar-viga com as seguintes soluções: viga sobre pilar, sendo a viga contínua e o pilar interrompido; viga contra pilar, sendo o pilar contínuo e as vigas ligadas de topo; vigas duplas e contínuas, com pilares simples e contínuos; e pilar duplo e contínuo, com vigas simples e contínuas (HEMPEL, 2008).

Figura 14 - À esquerda, sistema pilar e viga articulado e à direita, sistema pilar e viga embutido



Fonte: Adaptado de Hempel (2008).

No Japão o sistema é classificado em dois grupos – tradicional e tradicional simplificado – os quais se diferenciam pelo tipo de material adicional empregado, como por exemplo, as conexões executadas por profissionais especializados e utilização de madeiras duras, e as conexões simplificadas e ligações modernas (parafusos, chapas, etc.), respectivamente (INO, 1992).

No Brasil, de acordo com Silva e Ino (2008), de todos os sistemas construtivos citados, considera-se o pilar e viga o mais difundido. Valle (2011) ressalta que isso ocorre devido a sua simplicidade construtiva. Miranda e Czajkowski (1987) afirmam que este sistema é utilizado desde o período colonial, no qual as madeiras eram talhadas rusticamente e as construções eram executadas de maneira que a estrutura ficasse protegida em relação à umidade, através das fundações em pedra e elevadas do solo, assim como grandes beirais para proteger da chuva.

De acordo com Calil Junior e Brito (2010) a primeira obra executada com o sistema no Brasil foi o Park Hotel São Clemente, em Nova Friburgo, região

serrana do Rio de Janeiro (Figura 15). Projetado pelo arquiteto Lúcio Costa, no início da década de 40 do século passado, a edificação caracteriza-se pela utilização de peças roliças pouco elaboradas, com diâmetro médio de 0,25m, as quais são elevadas do solo através de cintas executadas com pedras e amarradas entre si, a partir de elementos metálicos (OLIVEIRA, SILVA e CARVALHO, 2007; CRUZEIRO, MARTINS e MURATORE, 1995).

Figura 15 - Vista externa do Park Hotel São Clemente, com a estrutura em madeira roliça



Fonte: Lordello (2008).

A busca por opções tecnológicas acessíveis na utilização da madeira e que, conseqüentemente, contribuam para solucionar o déficit habitacional no Brasil, impulsionou a realização de pesquisas na área e a manutenção do sistema pilar-viga de uso corrente. Em 1991, como resultado de uma parceria entre o Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM/ USP), a Companhia Vale, e algumas empresas especializadas na comercialização e tratamento de madeira, foi executado o módulo de Salão de Jogos na Reserva Natural da Vale, em Linhares/ ES.

As espécies de madeira utilizadas foram o *E. grandis* e o *E. urophylla*, sem interferências significativas na forma original das peças. A edificação é caracterizada pelo formato ortogonal e pela inserção de janelas e portas nos intervalos entre os pilares. O sistema de vedação é através de toras sobrepostas, inseridas de maneira independente da estrutura.

De acordo com Szücs (1992) a parte baixa da construção, por ficar em contato direto com o solo ou muito próximo dele, assim como as paredes externas em constante exposição às intempéries, são os pontos que necessitam de maior atenção ao se projetar uma edificação em madeira.

O módulo é elevado do solo, através de toras apoiadas em bases de concreto, protegendo as peças de madeira da edificação e respeitando o relevo do terreno (Figura 16). Além disso, as paredes das áreas úmidas são revestidas por chapas de cimento amianto, parafusadas nos montantes embutidos nas paredes de roliços, com pintura impermeabilizante (INO e SHIMBO, 1997).

Figura 16 - Salão de Jogos - Reserva Natural da Vale, Linhares/ ES



Fonte: a autora.

No ano de 1993, o então GHab (Grupo de Pesquisa em Habitação) que atualmente chama-se HABIS (Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade), com o financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e parceria com empresas relacionadas a comercialização de madeira, construiu a Casa do Horto, em São Carlos.

O desenvolvimento do projeto teve como referência o sistema construtivo modular, com toras de eucalipto, proposto por Ino (1992). A edificação caracteriza-se pela modulação estrutural de 3m x 3m, e pela facilidade de ampliação da área, se necessário. A madeira utilizada foi o *E. citriodora*, com diâmetro aproximado de 0,18m e ligações principais cavilhadas.

Como vedação, foi utilizado o painel sanduiche pré-fabricado e o sistema de toras sobrepostas encaixadas. Assim como no Salão de Jogos descrito anteriormente, as peças de madeira da edificação foram afastadas do solo e a cobertura possui beiral com tamanho suficiente para reduzir substancialmente o contato com a água de chuva (Figuras 17) - (INO e SHIMBO, 1997).

Figura 17 - Casa do Horto, São Carlos



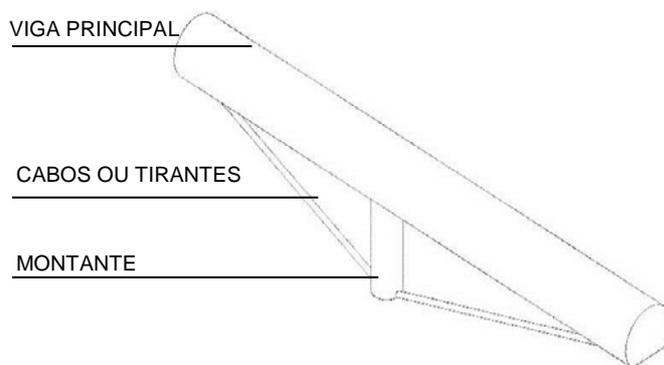
Fonte: Partel (2006); HABIS (acesso em 09 nov. 2013).

O mesmo grupo de pesquisa projetou em 1996 a Casa de Madeira e Vidro, buscando uma nova linguagem no campo da habitação social, alinhando a utilização de materiais alternativos – madeira e terra crua – às necessidades surgidas a partir do modo de vida até aquele momento. A execução foi realizada pelo casal usuário, em autoconstrução, e teve como condicionante principal o custo (TRAMONTANO e ATIQUÉ, 1998).

Nesta edificação a madeira de reflorestamento está presente em diferentes componentes, dentre eles, a estrutura. Em modulações de 4m x 4m, os pilares em eucalipto roliço são combinados com as “vigas-vagão” em madeira serrada e a vedação em alvenaria. O sistema chamado de “viga-vagão” é composto por uma

viga principal e um ou dois montantes vinculados aos tirantes fixados nas extremidades da viga principal, passando pela parte inferior dos montantes (Figura 18). Cabe ressaltar que o projeto foi projetado buscando facilitar a execução por artesãos locais, através de técnicas conhecidas por eles (TRAMONTANO e ATIQUÉ, 1998).

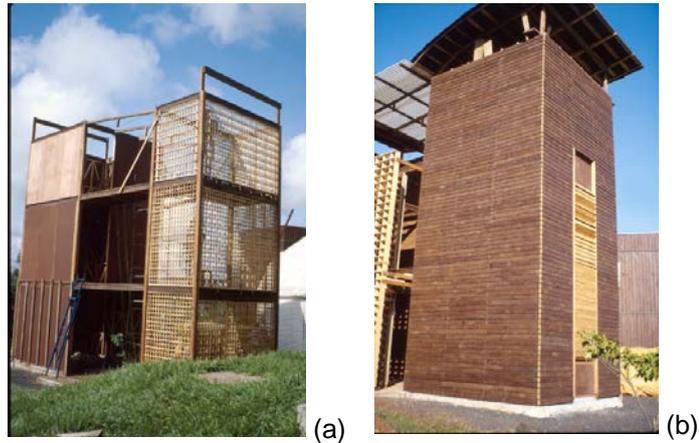
Figura 18 - Esquema do sistema viga-vagão



Fonte: a autora.

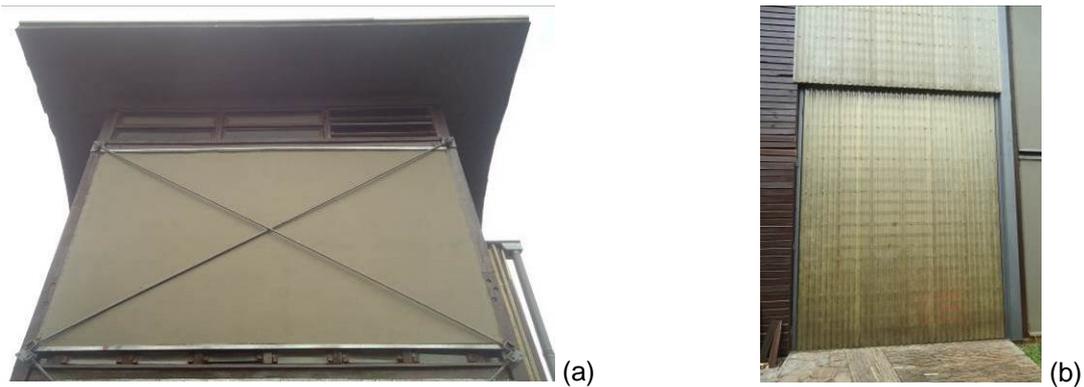
Seguindo os mesmos princípios, em 1998 pesquisadores da Universidade Federal de São Carlos, propuseram a execução das nomeadas Unidades Habitacionais 001 e 002 (Figuras 19, 20 e 21). O objetivo principal da pesquisa foi correlacionar a utilização de materiais alternativos – madeira e terra crua –, com produtos convencionais – plástico, vidro e metal –, e desenvolver um sistema estrutural modular e opções de vedação em painéis pré-fabricados, utilizando peças serradas de eucalipto (TRAMONTANO, 1997).

Figura 19 - Etapas de execução da Unidade Habitacional 001. Em (a) sistema construtivo pilar e viga e armação para a execução da vedação e; em (b) edificação com a vedação finalizada



Fonte: Ino (2009).

Figura 20 – Em (a), detalhe de travamento da estrutura e em (b), vedação executada com plástico



Fonte: a autora.

O uso da madeira na forma roliça destaca-se no módulo 002, cujos três andares são suportados pela referida estrutura. As peças utilizadas para vedação são esbeltas e posicionadas no sentido vertical, simulando a fixação de uma esteira na armação (TRAMONTANO, 1997), conforme ilustra a Figura 21. Apesar do objetivo inicial das edificações terem sido simular habitações, atualmente, nos dois prédios funciona a sede do HABIS.

Figura 21 - Vista externa da Unidade Habitacional 002



Fonte: Ino (2009).

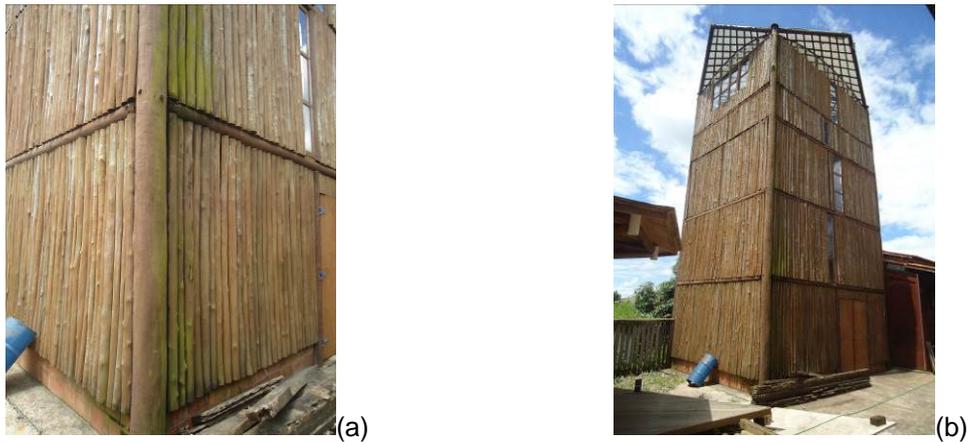
Em 2005, foi executado pelo LaMEM um edifício experimental com toras de pequenos diâmetros. A estrutura é caracterizada por peças roliças de eucalipto; a vedação é composta por costaneiras e a cobertura possui o formato parabólico. Buscando facilitar a execução da cobertura, a mesma foi pré-montada no solo e transferida posteriormente para o topo da edificação (Figuras 22 e 23).

Figura 22 - Estrutura da cobertura do edifício experimental do LaMEM montada no solo



Fonte: Partel (2006).

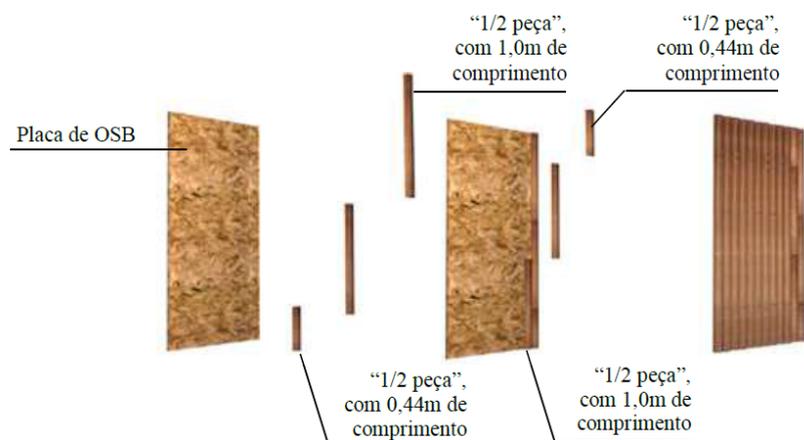
Figura 23 – Em (a), detalhe da vedação com costaneiras e em (b), vista externa da edificação



Fonte: a autora.

Partel (2006) desenvolveu um sistema de painéis estruturais para habitações de interesse social, com peças roliças de pequeno diâmetro divididas ao meio (no sentido longitudinal), chamadas de “1/2 peça”, e placa de OSB. As diretrizes adotadas para o desenvolvimento do produto foram: facilidade de produção e montagem, volume de resíduos gerados no processamento e custo. A montagem do painel segue as seguintes etapas: 1) na placa de OSB são fixadas duas “1/2 peças” com 1m de comprimento, no sentido longitudinal, e posteriormente uma “1/2 peça” com 0,44m de comprimento – considerando o comprimento do painel de 2,44m –; 2) as peças seguintes são fixadas de maneira alternada, ou seja, inicia-se pela peça de 0,44m de comprimento e, posteriormente, são fixadas as peças com 1m de comprimento. A pesquisa considera que o fato de alternar as peças proporciona maior resistência ao sistema (Figura 24).

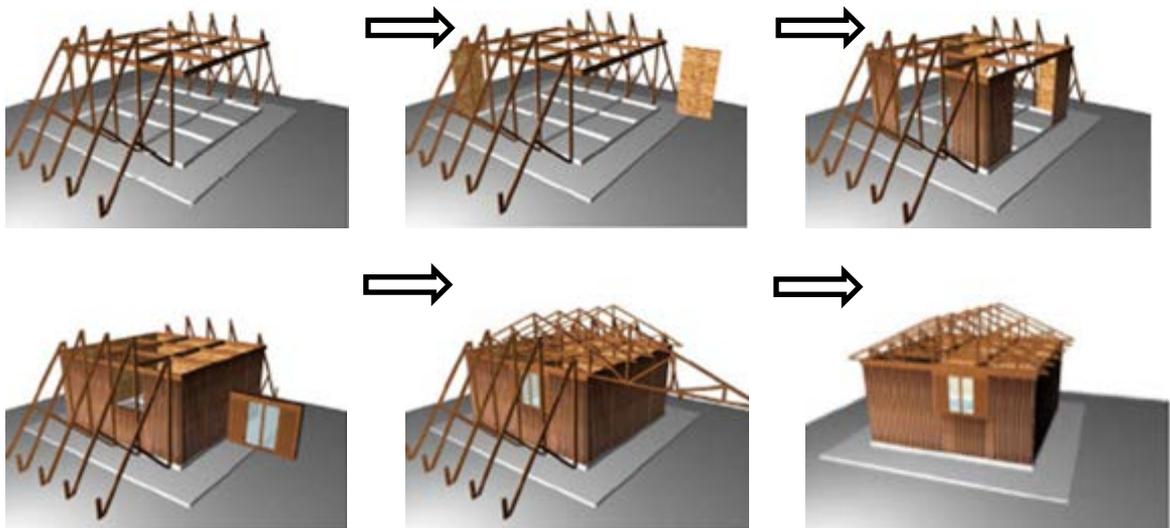
Figura 24 - Montagem do painel estrutural



Fonte: Partel (2006).

A Figura 25 representa as etapas de montagem de uma habitação empregando o sistema proposto: os montantes são encaixados na viga baldrame e a viga frechal é fixada e montada sobre os montantes temporários; após a montagem da viga frechal, são fixadas as chapas de OSB; as peças roliças divididas em duas partes iguais, usadas para vedação, são fixadas através de pregação pneumática, nas chapas; posteriormente a fixação dos painéis, são inseridas as esquadrias; e em seguida a instalação das treliças pré-fabricadas, são retirados os montantes.

Figura 25 - Etapas de montagem do sistema proposto por Partel em 2006



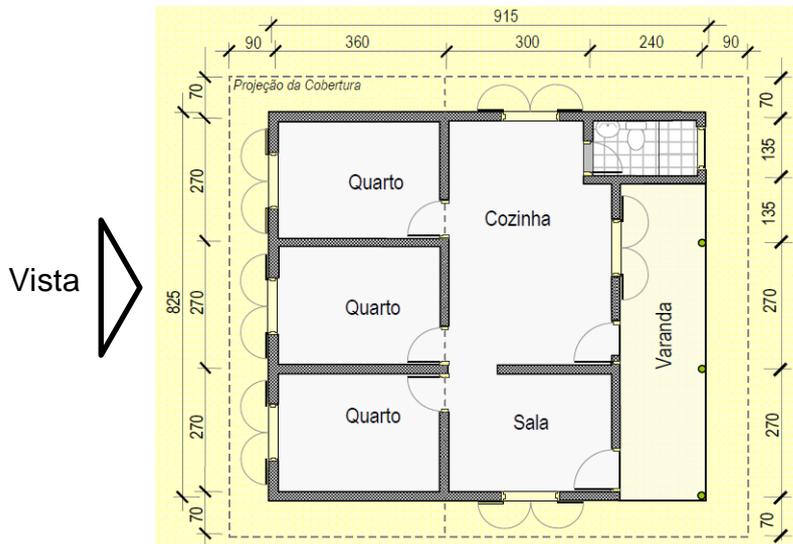
Fonte: Partel (2006).

Buscando contribuir com a resolução do déficit habitacional em Serra Azul/ SP, em 2007, os pesquisadores do HABIS, formularam o projeto arquitetônico para a construção de 77 moradias, no Assentamento Rural Sepé-Tiarajú. O sistema foi desenvolvido tendo como condicionantes o tempo, a facilidade de execução e o baixo custo.

A estrutura é composta por pilares contínuos, com diâmetro aproximado de 0,15m, e vigas duplas serradas de 2,5m x 0,15m, as quais “abraçam” os pilares. A espécie de madeira utilizada foi o *Eucalyptus spp*, os quais receberam o tratamento preservativo em autoclave. A utilização de barras rosquedas, com porcas e arruelas, garante a rigidez do conjunto. Como forma de efetuar a ligação entre pilares e fundação, optou-se por aplicar uma camada de concreto nas bases

de apoio e fixar um conector metálico tipo “T invertido”, conforme ilustram as Figuras 26 e 27 (VALLE et al., 2008; FOLZ, MAIA e INO, 2010).

Figura 26 - Planta baixa - Unidade habitacional, Assentamento Rural Sepé-Tiarajú



Fonte: Valle (2011).

Figura 27 - Vista externa - Unidade habitacional, Assentamento Rural Sepé-Tiarajú



Fonte: Folz; Maia; Ino (2010).

Para a produção dos componentes, as peças de madeira foram pré-usinadas, em um ambiente definido para o cumprimento dessa etapa, e os recortes foram realizados posteriormente no canteiro de obras. O desenvolvimento desse projeto possibilitou comprovar a viabilidade de produção de sistemas construtivos com a participação dos próprios usuários na execução das moradias, diante de um

cenário composto pela escassez de recursos financeiros, pela baixa infraestrutura de serviços públicos, pela distância de áreas urbanas e pela insuficiente qualificação profissional das famílias para lidar com as questões construtivas.

- **Sistema construtivo de toras sobrepostas**

Em edificações do tipo “log”, os troncos formam paredes que vedam e sustentam a construção. As cargas do telhado são distribuídas e transmitidas ao longo da vedação. Estas, por sua vez, são transferidas para a fundação. As solicitações horizontais são absorvidas através de elementos perpendiculares às fachadas (paredes e pisos), as quais dão enrijecimento ao conjunto (INO, 1992).

Valle (2011) cita que o sistema possui especificidades que garantem o cumprimento das principais exigências referidas a um sistema construtivo – segurança estrutural, estanqueidade e desempenho térmico – com destaque para o encontro das peças nos cantos das paredes e o contato horizontal e longitudinal entre as mesmas. No entanto, segundo Bittencourt (1995), o maior inconveniente do sistema é o alto consumo de madeira em relação aos requisitos físico-mecânicos e de conforto.

O sistema “log home” é antigo e teve sua origem nos países nórdicos da Europa onde as regiões frias exigiam o emprego de materiais que vedassem os abrigos, possibilitando a guarda do calor acumulado nos ambientes. Segundo Herzog e Voltz (1998), naquela época o sistema em questão já sofria redução de utilização, devido ao surgimento de técnicas que primavam pela diminuição no consumo de madeira e facilidade de construção e montagem, através da simplificação das técnicas construtivas. Esse cenário também é observado na América do Norte, onde o sistema foi amplamente utilizado, principalmente em regiões rurais e frias, porém com o uso de técnicas construtivas simplificadas e aperfeiçoadas às necessidades atuais (VALLE, 2011).

O emprego do sistema no Brasil foi iniciado por imigrantes europeus, especificamente russos e poloneses, na região sul. Cabe ressaltar que assim como em outros países, no Brasil a técnica também sofreu alterações e adaptações às novas necessidades. Atualmente é possível perceber também a utilização de peças roliças de menores seções e torneadas, com a madeira tratada e encaixes precisos (SILVA e INO, 2008; VALLE, 2011).

O desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao sistema *log home* tem como referencia no Espírito Santo a construção do módulo para alojamento na Reserva Natural da Vale e o Centro de Vivência do Horto Florestal de Ecoporanga/ ES, em 1991. Esse projeto é resultado de uma parceria entre o (LaMEM/ USP), o BANDES (Banco de Desenvolvimento do Estado do Espírito Santo), a CVRD (Companhia Vale do Rio Doce), as prefeituras municipais, a Aracruz Celulose e algumas empresas especializadas na comercialização e tratamento de madeira.

Para a execução das edificações foi utilizado duas espécies de eucalipto - *grandis* e *urophylla*. Com o objetivo de respeitar o relevo do terreno e também proteger as peças de madeira da umidade em relação ao solo, o módulo para alojamento foi construído sobre pilotis, que apesar de ser em madeira, as peças estão fixadas através de dispositivos metálicos em bases de concreto. As toras sobrepostas foram usinadas e interligadas por encaixe, tipo macho-fêmea (Figura 28).

Figura 28 - Módulo para alojamento - Reserva Natural da Vale, Linhares / ES



Fonte: a autora.

Na edificação do Centro de Vivência em Ecoporanga, a fundação foi executada com toras de *E. tereticornis* cravadas no solo. Com o objetivo de aumentar a durabilidade das peças sem tratamento preservativo, as mesmas tiveram o alburno removido, foram envolvidas por uma camada de concreto e receberam pintura de creosoto. As toras possuem diâmetro entre 0,16m e 0,18m, com

desbaste das costaneiras paralelas e fixadas por barras de diâmetro de 9,52mm (3/8"). As áreas úmidas foram executadas em alvenaria (Figuras 29 e 30).

Figura 29 - Centro de vivência - Horto Florestal, Ecoporanga / ES



Fonte: a autora.

Figura 30 - Detalhe de execução do apoio dos pilaretes - Centro de Vivência, Horto Florestal, Ecoporanga / ES



Fonte: a autora.

Através da revisão bibliográfica foi possível diagnosticar que o referido sistema é utilizado com menor frequência em propostas para habitações de menor custo, devido provavelmente ao alto consumo de madeira e, conseqüentemente, maior custo da construção. Altoé (2009) realizou uma pesquisa sobre edificações habitacionais em toras de madeira, e em sua avaliação concluiu que, no Estado do Espírito Santo, as edificações construídas com toras sobrepostas são

utilizadas como casas de temporada ou segunda residência, ou seja, pertencem a uma parcela da população com maior poder aquisitivo.

2.2. As Florestas Plantadas no Contexto da Construção Civil

O Brasil convive com a exploração irracional da madeira desde a sua descoberta, atualmente com raras exceções como, por exemplo, através da exploração controlada das FLONAS – Florestas Nacionais³. Esse fato, juntamente com o constante avanço da agricultura, quase sempre sem a reposição da cobertura florestal, acarretou em crises ambientais, principalmente na região Sul e Sudeste do país. A busca pela expansão das fronteiras agrícolas, no início do século XX, estimulou a exploração do potencial madeireiro no Norte do Paraná e, no início dos anos 70 do século passado, grande parte das terras encontravam-se ocupadas, principalmente, por lavouras de café e soja (ZANI, 2003).

Diante desse cenário e da expansão do processo de exploração em direção às regiões Centro-Oeste e Norte, foi promovido o reflorestamento das áreas degradadas com espécies de *Eucalyptus* e *Pinus*. Os plantios para fins silviculturais foram implantados através do Programa Nacional de Papel e Celulose, integrante do II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND), elaborado no Governo Geisel, em 1974 (YUBA, 2005).

Esse momento reuniu interesses de empresas privadas e de órgãos internacionais como a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), que passaram a subsidiar programas de expansão florestal em países de clima favorável, com disponibilidade de terras, mão-de-obra barata e políticas econômicas de governo que favoreciam o setor, visando a geração de excedentes para o uso na produção do carvão de siderurgias e celulose. Conforme Yuba (2005), os órgãos nacionais oficiais de fomento e fiscalização dos plantios, como o Instituto de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e o Fundo de Investimentos

³ Área de cobertura florestal com espécies predominantemente nativas e possui o objetivo de proporcionar o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e impulsionar a pesquisa científica, enfatizando a exploração de maneira sustentável das florestas nativas (BRASIL, 1994).

Setoriais (FISSET), aderiram então às legislações específicas e às normas fiscais de incentivo ao setor, como a Lei 5.10612 (1966).

De acordo com a ABRAF (2013), o Brasil possui uma área de 6,66 milhões de hectares cobertos por *Eucalyptus* e *Pinus*, sendo que desse montante, o eucalipto ocupa 76,6%, ou seja, 5.102.030 ha, apresentando 4,5% de crescimento, em relação ao indicador de 2011, devido ao estabelecimento de projetos industriais no segmento de papel e celulose. Ao analisar a localização das principais indústrias relacionadas à produção de papel e celulose na Região Sudeste, justifica-se a concentração dos plantios de eucalipto nessa área, ou seja, 53%, sendo os Estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Espírito Santo e Paraná, os detentores de 83,6% desse montante. Em relação ao uso dado para a produção de eucalipto, nesse mesmo relatório a ABRAF contabiliza que 72,5% foi utilizado para celulose, 19,5% para siderurgia e carvão vegetal, 7,3% para painéis de madeira industrializada e 0,7% para produtores independentes. A Associação destaca que o mercado externo foi extremamente importante para o setor, em 2012, já que a Argentina, a Alemanha, a China e os Estados Unidos são significativos consumidores de papel, compensados, celulose, painéis e madeira serrada, respectivamente.

Folz e Ino (2012) acreditam que, mesmo não divulgando um valor específico para a construção civil, a busca por produtos com bases sustentáveis irão estimular a utilização da madeira de reflorestamento na área referida. Segundo as autoras, ao correlacionar a demanda por produtos com bases sustentáveis, a oferta crescente de madeiras de plantios florestais e o aquecimento do setor da construção civil, entende-se que os sistemas construtivos em madeira passarão a despertar mais interesse.

O uso múltiplo da madeira oriunda de florestas plantadas é comum em países do Hemisfério Norte, seja através dos produtos gerados para a construção de edificações, ou aproveitando os benefícios que o ambiente florestal apresenta para atividades de lazer e turismo (LEITE, 2009). De acordo com Laroca (2002), a produção habitacional com a madeira no Brasil, é irrisória quando comparada aos países da América do Norte e da Europa.

É importante citar que o fato de o Brasil produzir matéria-prima para celulose e carvão vegetal, não desperta o interesse de empresários para cultivar o eucalipto

voltado para a construção civil, visto que a produção de celulose utiliza árvores jovens, requerendo plantios com ciclos mais curtos, em torno de oito anos, enquanto para a execução de edificações, é necessário que a árvore tenha 15 anos ou mais, variando de acordo com a espécie usada.

Além disso, a ausência de divulgação das características tecnológicas da madeira para a população, mantendo a crença de um produto de baixa durabilidade, faz com que a tradição construtiva em alvenaria de tijolos, introduzida pelos portugueses na época da colonização do país, ainda seja a mais utilizada.

Outro fator de destaque é o custo elevado, acarretando em desvantagem quando comparada ao aço e à alvenaria. Em pesquisa realizada por Altoé (2009) sobre habitações em eucalipto no Estado do Espírito Santo, foi diagnosticado que o material é empregado em casas qualificadas como de pessoas socialmente pertencentes às classes médias e altas, sendo considerado um material nobre a ser utilizado na arquitetura local. Não foram encontradas habitações de interesse social, sendo ainda comum verificar que muitas unidades eram para segunda residência, ou seja, tampouco foram construídas para a moradia oficial da família.

2.2.1. Caracterização do Eucalipto para a Construção Civil

A madeira é considerada um material de construção com potencialidades significativas, principalmente, por ser um produto de fonte renovável e influenciar no ciclo global do carbono funcionando como “sumidouro” do mesmo (ROMANO, 2004). Além disso, os equipamentos empregados para a sua extração e manufatura consomem menos energia do que outros materiais construtivos e exige a associação de poucos produtos para compor uma edificação (ISSA e KMEID, 2005).

Esses dados são confirmados por pesquisas realizadas ao longo dos últimos anos e em diferentes países como, Suécia (BÖRJESSON e GUSTAVSSON, 2000; GUSTAVSSON, JOELSSON e SATHRE, 2010), Holanda (GOVERSE et al., 2001), Noruega (PETERSEN e SOLBERG, 2002), Japão (GERRILLA, TEKNOMO e HOKAO, 2007), e Estados Unidos (UPTONA et al., 2008).

No Brasil, os pesquisadores Kronka e Del Carlo (2001) contabilizaram o valor do consumo energético da madeira em 30% menor do que o uso de um material tradicional como a alvenaria. O processo de análise foi realizado considerando todas as etapas de uma construção, desde a extração do produto até a construção final. Nesse sentido, Romano (2004) sugere que a madeira seja usada de maneira alternativa ao aço, em estruturas; ao alumínio e aos plásticos, em caixilharias; e também às pedras, em revestimentos.

Nesse sentido, caracterizar a madeira física e mecanicamente é de grande importância, visto a influência dessas propriedades no desempenho e resistência do material utilizado. De acordo com Calil Junior, Lahr e Dias (2003), o processo de caracterização de uma espécie de madeira corresponde a sua classificação estrutural, através da avaliação laboratorial de cada peça, procedimento considerado inviável para esta pesquisa, sendo utilizados como referencia os estudos e respectivos resultados já realizados e outras investigações.

Segundo a norma Brasileira NBR 7190:1997 (Projeto de estruturas de madeira), as características a serem consideradas no processo de reconhecimento desse material, são a densidade, a resistência, a rigidez e a umidade. A densidade é definida como a massa específica convencional, resultante das características anatômicas e da composição química da madeira, dada pela relação entre a massa seca (g ou kg) e o volume saturado (cm^3 ou m^3). Embora possua ampla relevância, a densidade básica apresenta grande variação entre espécies, dentro da mesma espécie, e em regiões distintas na mesma árvore – como no sentido longitudinal da base para o topo ou no sentido transversal da medula para a casca – não ocorrendo um padrão específico para cada espécie (PROTÁSIO et al., 2010). Gérard e outros (1995) asseguram que a densidade da madeira está correlacionada as características de trabalhabilidade, durabilidade natural e impregnabilidade do material.

Oliveira (2003) cita que o eucalipto apresenta a densidade com valores entre 0,20 e $1,20\text{g/cm}^3$, sendo classificada como madeira leve, média e pesada. Segundo Foelkel (1978) as espécies caracterizadas pela densidade entre 0,45 e $0,65\text{g/cm}^3$ são recomendadas para a produção de celulose.

Todavia, pode-se considerar a utilização de espécies variadas com árvores em idades mais avançadas, na construção civil, visto que, a densidade básica da

árvore aumenta conforme a idade da mesma (ALBINO, 1983; FERREIRA e KAGEYAMA, 1978). Além disso, Alzate (2004) pondera que os valores da densidade não restringem as aplicações da madeira, desde que sejam utilizadas técnicas que mitiguem o dano causado por essa característica.

As propriedades de resistência e rigidez são definidas pela disposição dos elementos anatômicos responsáveis pela resistência mecânica (CALIL JÚNIOR e BRITO, 2010). Considera-se a resistência como sendo a aptidão da matéria em suportar tensões, a qual é determinada convencionalmente pela análise do módulo de ruptura e de deformação; e a rigidez é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, o qual é determinado na fase de comportamento elástico-linear (NBR 7190:1997).

De acordo com Gonçalves (2006) o módulo de ruptura (MOR) é responsável por determinar a habilidade de carregamento de peças estruturais, especificamente, às vigas. O módulo de elasticidade (MOE) é utilizado para expressar a capacidade que o material possui em regressar à sua forma original, sem alterar suas características, depois de submetida a uma força invariável.

Cabe ressaltar a importância da umidade em relação às propriedades dos materiais, ao considerar que o aumento da mesma ocasiona a redução da resistência do produto (PFEIL e PFEIL, 2003). De acordo com a NBR 7190:1997, o projeto deve ser feito admitindo-se uma das classes de umidade especificadas, as quais têm por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permanecerão.

Seco e outros (1998) citam que é possível analisar as peças de madeira, considerando somente as tensões básicas do material, e através de ensaios laboratoriais, visto que é possível obter um número significativo de peças isentas de defeitos. Diante dessa afirmação e considerando que, dentre os possíveis defeitos, a presença de nós e frestas interferem na qualidade da madeira – provocando a perda local de seção e a redução de resistência, respectivamente –, percebe-se que esses devem ser avaliados de acordo com critérios determinados pela norma de classificação visual vigente (ESTEBAN, 2010; MARTITEGUI, 2007).

É importante citar que o aparecimento das frestas e das rachaduras de topo está diretamente relacionado às tensões de crescimento, que é resultante da ação de forças internas que atuam sobre os tecidos das árvores, de forma a mantê-las íntegras e eretas. De acordo com Silva (2003) todos os tipos de eucalipto apresentam altas taxas de crescimento, porém os danos podem ser mitigados a partir da adoção de uma metodologia adequada de manuseio e estocagem das peças.

Vale (2002) cita que a conicidade é mais uma característica relevante para a escolha das árvores, visto que quanto menor a diferença, maior será o aproveitamento da peça. Descreve ainda que para as árvores serem consideradas cônicas, a conicidade deve possuir valor superior a 1,0 cm/m.

De acordo com estudo divulgado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2010), as espécies de eucalipto indicadas para a construção civil são o *E. urophylla*; o *E. grandis*; o *E. saligna*; o *E. camaldulensis*; o *E. tereticornis* e o *E. cloeziana*.

Em relação ao *E. urograndis*, Gonçalves (2006) realizou uma pesquisa e caracterizou o material através de amostras coletadas no Sul do Estado da Bahia, região que possui particularidades ambientais semelhantes às do Estado do Espírito Santo. Como resultado o autor afirma que a espécie dispõe de capacidades tecnológicas consideráveis para o uso na construção civil, dentre eles, o módulo de ruptura, módulo de elasticidade e a conicidade.

2.3. Avaliação de Desempenho

Desempenho é a propriedade que caracteriza quantitativamente o comportamento de um produto em utilização. Quando aplicado ao edifício, manifesta-se como um conjunto de propriedades que definem a sua aptidão em preencher corretamente as diversas funções, e estas constituem a resposta técnica às necessidades do usuário (SOUZA, 1981; SABBATINI, 1989; GROSS, 1996; NBR 15.575:2013).

Perante as exigências dos usuários são definidos os requisitos de desempenho, que expressam qualitativamente os atributos que o edifício deve possuir para satisfazer às requisições e aos critérios dos mesmos (CASER e INO, 2001).

Souza e Mitidieri Filho (1998), assim como a NBR 15.575:2013 citam as exigências dos usuários como as necessidades que devem ser satisfeitas pelo edifício, a fim de que esse cumpra a sua função. Para Souza (1984) são definidas como o nível de condições necessárias à segurança e saúde do homem, ao seu conforto e satisfação de suas preocupações econômicas.

O comportamento do produto em uso é considerado, na construção civil, desde o século I a.C., quando o arquiteto romano Marco Vitrúvio Polião, escreveu o tratado latino sobre a arquitetura e a atividade do arquiteto: o *De Architectura Libri Decem*. Esse documento, que se tornou uma referência no ensino de arquitetura, é fundamentado nos princípios de comodidade/ função, resistência e beleza (FOLIENTE, acesso em 28 out. 2013).

Foliente (2000) cita que o conceito de desempenho foi realmente introduzido por Blachère, em 1965 através do Sistema *Agrément* na França, no entanto, o desenvolvimento de projetos arquitetônicos e a execução das obras prosseguiu baseada no “conhecimento prático” e delineado por códigos e regulamentos, escassos enquanto o emprego de desempenho.

Conforme Mitidieri Filho e Helene (1998), no final dos anos 60 do século passado, após a Segunda Guerra Mundial, com a necessidade de sistematizar a variedade de produtos, técnicas e sistemas construtivos desenvolvidos visando à reconstrução dos países envolvidos na guerra, a avaliação de desempenho foi sistematizada para operação pelo então *National Bureau of Standards* (NBS), hoje nomeado como *National Institute of Standards and Technology* (NIST), sediado nos Estados Unidos da América (EUA).

O real julgamento com vista ao seu significado e potencialidades, enquanto conceito e prática, aconteceu em conferências organizadas pela parceria entre o *Reunião Internationale de Laboratoires d'Essais et de Recherches sur lês Materiaux et Constructions* (RILEM, França), o *American Society for Testing Materials* (ASTM, Estados Unidos) e o *Conseil International du Batiment* (CIB, Austrália). O primeiro evento foi realizado nos EUA, em 1972, seguido de Portugal

em 1982 (SOUZA, 1981; CASER, 2001; BORGES, 2010; FOLIENSTE, acesso em 28 out. 2013).

Como resultado dessas realizações o CIB, especificamente a Comissão W60 através do relatório nº 64, publicou que não basta pensar na maneira como executar a edificação, mas sim, ponderar os critérios que esta deve atender em uso (GIBSON, 1982; VANIER, LACASSE e PARSONS, 2006). Borges (2010) cita a elaboração da Norma ISO 6241: 1984 – Normalização e Desempenho dos Edifícios, como um fato significativo na adoção do conceito de desempenho, ao designar os requisitos a serem aplicados em diferentes situações dos edifícios. Os autores destacam também a continuidade da parceria entre as instituições envolvidas no assunto – RILEM, ASTM e CIB – e a inserção da *International Organization for Standardization* (ISO) com a realização do *International Symposium Applications of the Performance Concept in Building*, em Israel no ano de 1996.

Em 1998 ocorreu a implementação do *Performance Based Building Designs* (PBBD), o qual foi sucedido pelo programa *Performance Based Building* (PeBBu), entre 2001 e 2005, sob domínio da Comunidade Europeia (CE) e liderada pelo CIB, com foco na aplicação de desempenho nas construções, e não o estudo conceitual do tema (SZIGETI e DAVIS, 2005; BORGES, 2008). Cabe ressaltar que a rede permanece em atuação e em seu site é apresentado todo o histórico e trabalhos desenvolvidos – www.pebbu.nl.

Ainda em relação à formação do conceito e a implantação dos critérios de desempenho, em âmbito internacional, além dos atuantes citados é possível destacar a atuação de outros agentes, como o *World Federation of Technical Assessment Organizations* (WFTAO), no Canadá; e o Instituto Nacional de Tecnologia Industrial (INTI), responsável pelo *Certificado de Aptitud Técnica* (CAT), na Argentina; e o *Instituto de la Construcción de Edificios* (ICE), no Uruguai (MITIDIÉRI FILHO e HELENE, 1998).

A implantação do conceito de desempenho chegou ao Brasil na década de 1970, inicialmente avaliando a edificação a partir dos aspectos técnicos construtivos, como: patologias, salubridade, conforto ambiental e o dimensionamento mínimo de ambientes (ROSSO, 1980). Essa época foi caracterizada pelo crescimento da

economia brasileira e investimentos significativos no setor da construção civil, surgindo então novos sistemas construtivos (BORGES, 2008).

Em 1981, financiado pelo BNH, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), realizou a elaboração de critérios para avaliar o desempenho de sistemas construtivos inovadores (IPT, 1986). No decorrer da década de 80, foram formuladas várias normas técnicas para componentes, as quais abordaram o conceito de desempenho, mas sem uma sistematização. Com a extinção do BNH e a sucessão pela Caixa Econômica Federal (CEF), ocorreu uma paralisação no aperfeiçoamento da avaliação dos sistemas construtivos inovadores e, em 1997, a CEF contratou o IPT para revisar os trabalhos já executados (BORGES, 2010).

Nesse momento foi identificada a necessidade de compilar as informações coletadas e a CEF, com o apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), financiou o projeto de pesquisa “Normas Técnicas para Avaliação de Sistemas Construtivos Inovadores para Habitação”, no ano 2000, com o intuito de conceber um conjunto de normas técnicas brasileiras com base no conceito de desempenho, adquirido em revisão bibliográfica nacional e internacional (LAROCCA, 2007; BORGES, 2008).

Conforme Nishida e Hua (2011) a criação de uma norma com o estabelecimento de requisitos mínimos para o controle e regulamentação do desempenho dos edifícios é extremamente eficaz, na garantia de atendimento das exigências dos usuários. No entanto, o seu desenvolvimento é considerado complexo, visto que deve correlacionar todas as etapas do ciclo de vida da edificação – planejamento, projeto, construção, operação, demolição – ao contexto de inserção (LEIPZIGER, 2013) – clima predominante, recursos disponíveis e cultura – e ponderar a atuação de cada agente envolvido – construtor, incorporador, fornecedor, projetista e usuário (BAUMERT et al., 2005; BUENO e ROSSIGNOLO, 2010).

Os condicionantes apresentados justificam a publicação da NBR 15.575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, lançado em 2008, porém vigorando somente em julho de 2013 (SOUZA, 2013). A norma em questão é composta por seis partes e, para definir o desempenho estabelece requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação.

Considerando que as empresas de construção civil buscam racionalizar seus métodos de execução para reduzir custos e, conseqüentemente, garantir competitividade no mercado, o estabelecimento de exigências qualitativas foi entendido como fortalecimento da Lei de Defesa do Consumo e desvantagem para os construtores (BARROS, 2012). No entanto, o autor afirma que essas definições proporcionam o conhecimento dos sistemas construtivos pelos clientes, transmitindo maior confiabilidade aos mesmos, diante do histórico de baixa durabilidade das habitações no Brasil.

Nesse sentido, é importante citar que ao considerar que a exigência descreve os meios para alcançar o objetivo em termos de desempenho (OLESZKIEWICZ, 1994), em países como Canadá, Japão e França, as tecnologias construtivas são decididas após a definição do nível de desempenho almejado para o edifício e o desenvolvimento de seu projeto (OLIVEIRA e MITIDIARI FILHO, 2012), enquanto no Brasil, geralmente, são priorizadas as questões relacionadas à arquitetura e, nem sempre, são consideradas as exigências dos usuários, em relação ao desempenho da edificação (MELHADO, 2001; AQUINO, 2005; ONO, 2007).

Partindo do princípio que a avaliação de desempenho é primordial na comprovação da validade de uma proposta alternativa para a habitação, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ressalta que a Norma ISO 6241:1984 é mantida, também como referência para o tema em questão, apesar da vigência da NBR 15.575:2013 (BORGES, 2008).

Nesse sentido, em análise dos documentos referenciais, é possível perceber que as exigências estabelecidas pelas duas normas, em linhas gerais, são as mesmas. Porém, é importante citar que a Norma ISO 6241: 1984, não aborda o impacto ambiental. O Quadro 3 apresenta as exigências ditadas pelas normas citadas:

QUADRO 3 - EXIGÊNCIAS DOS USUÁRIOS EM RELAÇÃO AO DESEMPENHO PRESCRITOS PELAS NORMAS ISO 6241: 1984 E NBR 15.575: 2013

Norma técnica ISO 6241: 1984		Norma técnica NBR 15.575:2010	
<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidade estrutural e resistência a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas • Resistência ao fogo • Resistência à utilização • Estanqueidade • Higiene • Qualidade do ar 	<ul style="list-style-type: none"> • Conforto higrotérmico • Conforto acústico • Conforto tátil • Conforto antrópico • Custos • Durabilidade • Conforto visual 	<ul style="list-style-type: none"> • Segurança estrutural • Segurança contra fogo • Segurança no uso e na operação • Estanqueidade • Saúde, higiene e qualidade do ar • Desempenho térmico • Adequação ambiental 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionalidade e acessibilidade • Desempenho acústico • Conforto tátil e antrópico • Desempenho lumínico • Manutenibilidade • Durabilidade

Fonte: a autora.

Diante do exposto, a pesquisa em questão atende a NBR 15.575:2013, visto que esta estabelece os requisitos e critérios de desempenho específicos para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos e pode ser utilizada na avaliação de desempenho de sistemas construtivos no Brasil sendo, portanto, adequada enquanto instrumento de avaliação ao objeto de estudo dessa investigação.

Para definir os critérios de desempenho, conforme a função da edificação, é necessário ponderar as condições de exposição do edifício, visto que o projeto deve ser desenvolvido de acordo com as características do local de implantação e das especificidades do material construtivo utilizado (MITIDIARI FILHO, 1998; HAPURNE, CORDUBAN e BLIUC, 2011; GOINS e MOEZZI, 2013).

No caso da madeira, as condições de exposição a deixam vulnerável a fatores que influenciam na sua durabilidade. Nesse sentido, inicialmente o projetista deve verificar a que classe de risco se enquadra a madeira para providenciar os melhores tratamentos e incrementar detalhes construtivos eficientes. As situações de risco de biodeterioração, de acordo com a NBR 7190:1997 são:

- 1) Classe 1: inteiramente protegida das intempéries e não sujeita à reumidificação;
- 2) Classe 2: inteiramente protegida das intempéries, mas sujeita à reumidificação ocasional;
- 3) Classe 3: não está protegida das intempéries, ou está protegida, mas sujeita à reumidificação frequente;

- 4) Classe 4: em contato com o solo ou com a água doce e fica, assim, em exposição permanente à umidificação; e
- 5) Classe 5: está em contato permanentemente em água salgada.

No entanto, a exemplificação utilizada nesse trabalho – habitação com aproximadamente 52 m² – posiciona o material de maneira que pertença a Classe 1, conforme determinação da NBR 7190: 1997.

Diante do cenário normativo apresentado e considerando que a proposta foi avaliada de acordo com as particularidades e exigências normativas vigentes no Brasil, cabe ressaltar que, em caso de utilização em outros países, é necessário adaptar o produto apresentado, assim como avaliar o sistema com base nas exigências locais. O quadro 4 apresenta, a título de exemplificação, as normas semelhantes às brasileiras que devem ser adotadas, caso o produto proposto seja empregado no Chile.

Quadro 4 – Normas relacionadas à avaliação do módulo *Quarter Log*, vigentes no Chile

Norma	Descrição
NCh 1198:2006 - Construcciones en Madera – Cálculo	Métodos e procedimentos de desenho estrutural para construções com madeira serrada, laminada-colada e roliça
NCh 2819:2003 - Evaluación de filtraciones de agua en muros de edificios	Métodos e parâmetros para a avaliação de estanqueidade da vedação, em relação a água
Nch 2862:2004 - Elementos de construcción - Tabiques - Ensayos mecánicos	Procedimentos para a avaliação da resistência de divisórias, em relação aos ensaios mecânicos
Nch 804: 2003 - Elementos de construcción - Paneles - Ensayo de impacto	Métodos de ensaio para comprovar a resistência aos impactos de painéis utilizados como elementos de um edifício

Fonte: a autora.

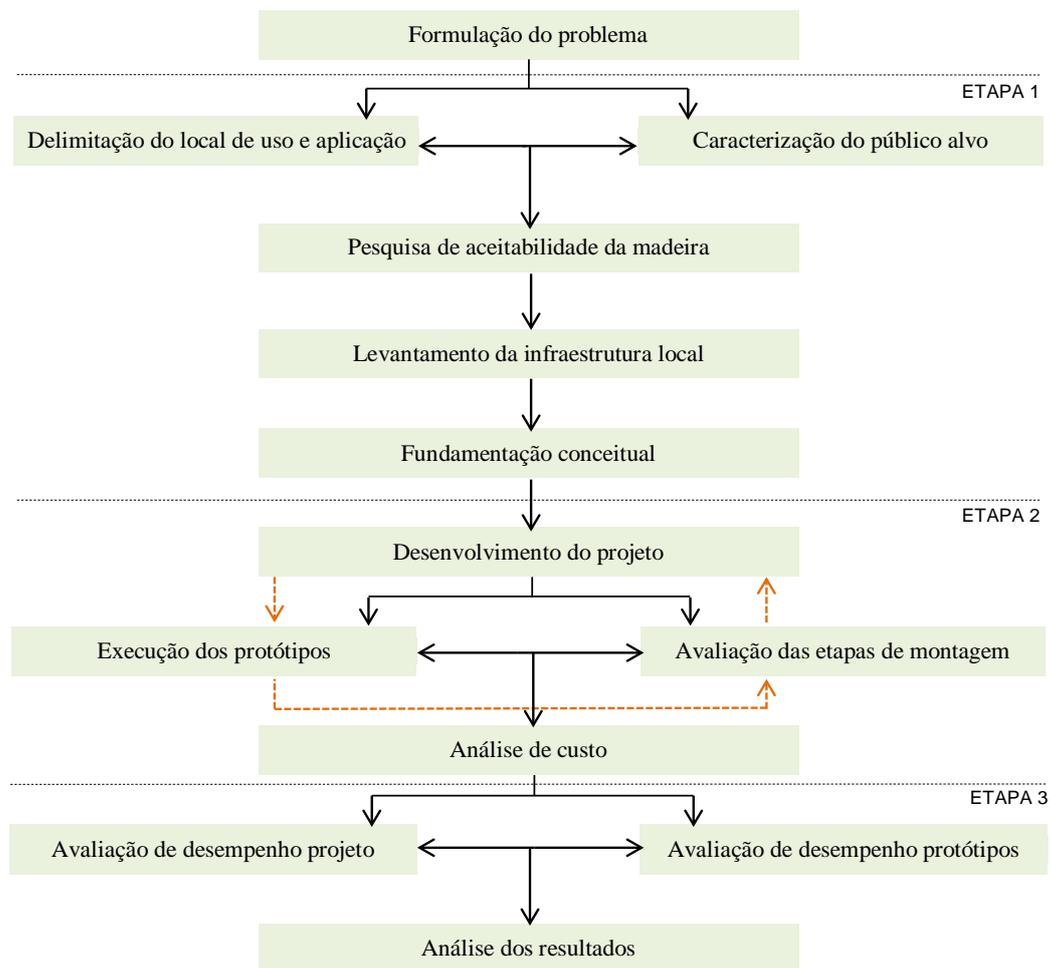
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS – DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DO MÓDULO

Os aspectos metodológicos para o desenvolvimento da investigação foram fundamentados em definições e classificações realizadas por diferentes autores especializados em metodologia da pesquisa científica, destacando-se dentre eles Cervo e Brevian (2002), Gil (2002), Köche (2003) e Volpato (2010).

Considerando o objetivo da pesquisa em questão – desenvolver um módulo para vedação vertical de fácil execução, para as zonas rurais – e a necessidade de avaliar a exequibilidade do produto proposto, assim como o desempenho do mesmo quanto à segurança estrutural, entende-se que o método da pesquisa, é caracterizado como experimental e auxiliado pelos procedimentos operacionais de pesquisa de avaliação ou levantamento e de pesquisa bibliográfica.

Buscando facilitar a compreensão da metodologia utilizada, a Figura 31 ilustra as etapas seguidas, conforme o tema de investigação apresentado e o âmbito de aplicação em relação aos pontos de enfoque, as quais são detalhadas posteriormente.

Figura 31 - Síntese das etapas seguidas para o desenvolvimento da tese



Fonte: a autora.

3.1. Definição dos Condicionantes de Projeto e dos Critérios de Avaliação

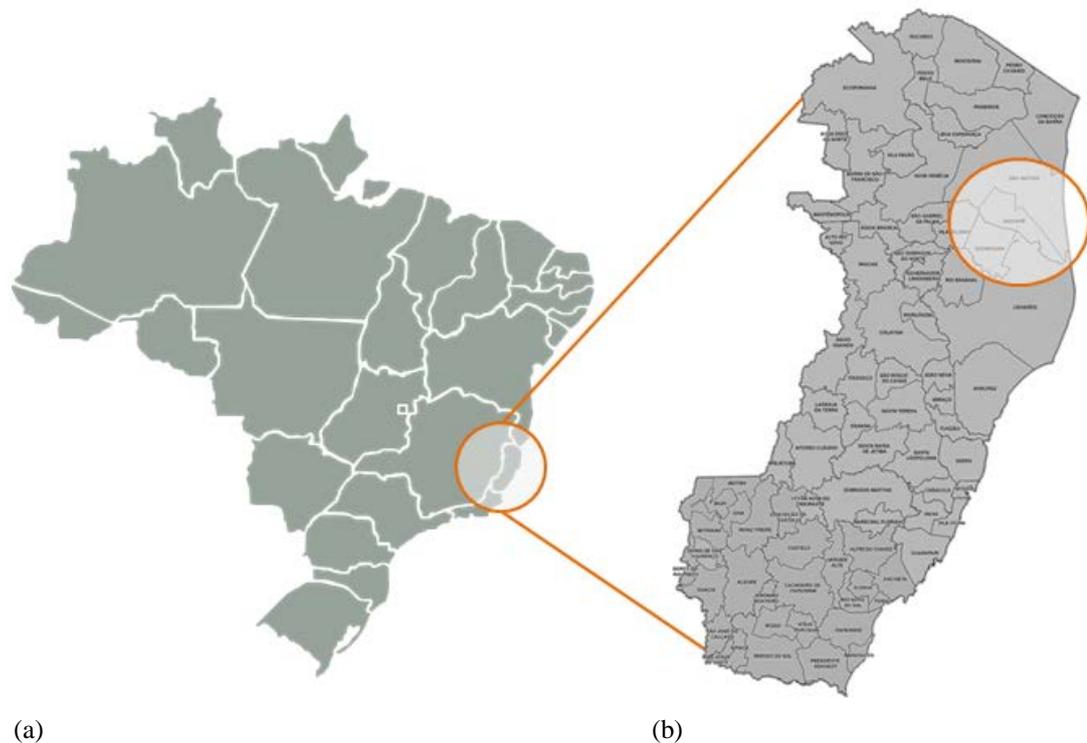
3.1.1. Delimitação do local de uso e caracterização do público alvo

Sendo o Brasil um País heterogêneo e que por isso, apresenta diferentes características relacionadas, principalmente, aos aspectos econômicos, sociais e ambientais, buscou-se delimitar o local para avaliar a proposição do sistema construtivo, considerando que a solução a ser desenvolvida deve estar alicerçada nos condicionantes específicos do lugar.

Através de pesquisas bibliográficas constatou-se que o Estado do Espírito Santo é um dos principais produtores de eucalipto no país (ASSOCIAÇÃO..., 2010; SANTOS e AGUILAR, 2007), sendo que 91,1% da produção são utilizadas por empresas de celulose, e o restante se divide entre a produção de carvão e a construção civil rural e temporária (EMBRAPA, 2010), significando esses aspectos incentivadores para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao analisar os municípios produtores da planta e que compõem o Estado, Jaguaré obteve destaque por contribuir de maneira significativa, com 52.726m³ da produção de eucalipto em tora, para a fabricação de papel e celulose (EMBRAPA, 2010). O município está localizado na região Norte do Estado do Espírito Santo (Figuras 32 e 33), ocupando uma área de 659,751Km² e com 24.678 habitantes de acordo com o último censo demográfico (IBGE, 2010).

Figura 32 – Em (a), mapa do Brasil com a localização do Estado do Espírito Santo e em (b), mapa do Espírito Santo com a localização do Município de Jaguaré



Fonte: Elaborado a partir das imagens do Instituto Jones dos Santos Neves (2013).

Figura 33 – Município de Jaguaré



Fonte: *GOOGLE MAPS* (acesso em 10 março 2015).

Após o recorte territorial, foi necessário ponderar as características da população local, através de análises *in loco* e de dados apresentados pelo IBGE, para verificar se o sistema é adequado à mão de obra disponível na região. As visitas técnicas realizadas permitiram identificar a predominância rural do município, tanto pela economia principal (agricultura), quanto pelo modo de vida e local de residência de expressiva parte da população.

Os dados obtidos demonstraram que 39,08% da população habitam na zona rural do município, ou seja, aproximadamente 9.620 pessoas, das quais 73% não possuem casa própria (IBGE, 2010). Diante do cenário apresentado definiu-se então como público alvo para o desenvolvimento da pesquisa, moradores da zona rural do município de Jaguaré. A partir dessa definição, foi necessário analisar a aceitabilidade da madeira, como material de construção, pelo público citado e a aptidão dos mesmos para executar as próprias residências.

3.1.2. Pesquisa sobre a aceitabilidade da madeira e a infraestrutura local

A aceitabilidade da madeira pela população descrita, assim como a familiaridade dos mesmos com o material, foi avaliada através da aplicação de um questionário

composto por questões de múltipla escolha (Apêndice A). Para essa caracterização, o questionário abordou os seguintes aspectos: sexo, idade, estado civil, escolaridade, posição no trabalho, atividade desempenhada, possível atuação na construção civil, contato com ferramentas básicas de marcenaria, capacidade de executar uma casa em madeira, e aceitabilidade do material.

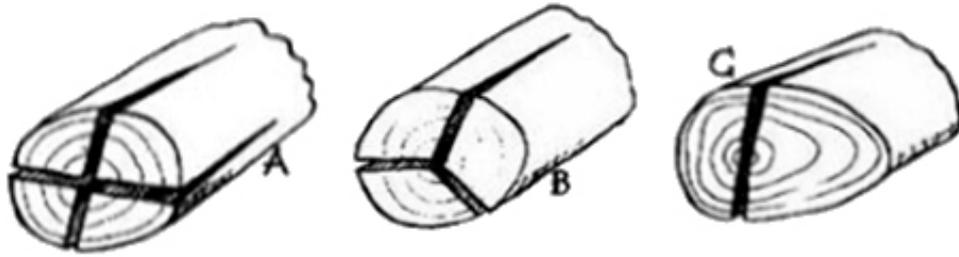
Após a confirmação de aceitabilidade da madeira, foi realizado o levantamento sobre as ferramentas de marcenaria disponíveis na região, através de visitas *in loco*. Constatou-se então, que os instrumentos oferecidos para as atividades vinculadas à madeira são os básicos, destacando-se a presença constante da serra fita, serra circular de bancada, plaina desempenadeira, desengrossadeira, esquadrejadeira, tupia e furadeira.

Conforme Gonzalez (2006), o eucalipto, além de ser uma matéria prima de fonte renovável, apresenta características físicas e mecânicas, que permitem o seu uso na construção civil. Observa-se ainda que a partir de entrevista com três pesquisadores especializados na produção de eucalipto, sobre as características técnicas do mesmo, percebeu-se que, mesmo o cultivo em Jaguaré sendo voltado para a produção de papel e celulose, é perceptível a aceitabilidade para uso como material construtivo.

3.2. Definição da Espécie de Eucalipto a ser utilizada

De acordo com a revisão bibliográfica realizada sobre o eucalipto e suas espécies, com especial ênfase para Waugh (1998) e Ponce (1994) foi possível constatar que a árvore em questão possui como característica que a diferencia da maioria das madeiras utilizadas na construção civil, a presença de elevadas tensões de crescimento, as quais compõem o mecanismo que a mantém ereta, e apresenta como consequência, o rachamento radial nas toras e o encurvamento das peças desdobradas (Figura 34). Considerando que os defeitos citados acarretam na perda de rendimento e qualidade da madeira, buscou-se adotar um método que contribuísse na mitigação desse problema.

Figura 34 - Representação dos tipos de rachaduras de topo denominadas "X", "Y" e "I", respectivamente



Fonte: Matheck; Walther (1991).

Inicialmente foi necessário definir a espécie de eucalipto para ser utilizada na execução dos protótipos, diante das opções oferecidas na região: *Eucalyptus urograndis* e *Eucalyptus grandis*. Considerando que a descrição técnica das características do *Eucalyptus grandis* para a utilização na construção civil é encontrada com frequência em publicações científicas, percebeu-se a necessidade de analisar experimentalmente o *Eucalyptus urograndis*.

Foram selecionadas algumas árvores da espécie *E. urograndis* e adotados os procedimentos recomendados por pesquisadores para a espécie de *E. grandis*, mesmo entendendo que esses procedimentos não são considerados como garantia de solução para o problema, conforme Kubler (1987), Ponce (1994), Malan (1995) e Shield (1995).

Dentre as alternativas sugeridas pelos autores consultados, foram analisadas as seguintes técnicas: bloqueamento da lignina, selamento de topo, armazenamento das toras sob aspersão de água, anelamento e instalação de *gang nail*. Ao avaliar cada técnica, os respectivos resultados obtidos e o público que a pesquisa em questão pretende atender – população da zona rural, com escassez de infraestrutura –, concluiu-se que o anelamento, juntamente com o uso de *gang nail* seria a estratégia adequada para o estudo proposto.

Aguiar (1986) afirma que quando o anelamento é utilizado, ocorre a eliminação de parte das tensões próximas à casca, limitando assim, a liberação das mesmas na extensão entre o anelamento e a face de corte. Ao correlacionar as técnicas analisadas para a execução do procedimento, citadas por Roza Mellado (1993), Oliveira (1999) e Rocha (2000), e a infraestrutura disponível na região, optou-se por utilizar a metodologia descrita por Rocha (2000), na qual o anel é realizado

com o motosserra, numa profundidade de $1/3$ do raio da árvore, a uma distância de 0,20m a 0,30m da linha de corte, com antecedência de seis à oito meses da derrubada.

O processo de avaliação teve início através do anelamento de cinco árvores, definidas de acordo com o diâmetro de base (cerca de 0,40m), presença de nós e conicidade, sendo a seleção realizada através de análise visual e medição com a trena. O anel foi realizado com motosserra, numa profundidade de $1/3$ do raio da árvore, a uma distância de 0,30m da linha de corte, com antecedência de seis meses da derrubada (Figura 35), conforme recomendado por Rocha (2000). No entanto, devido à localização das árvores nas extremidades da plantação, e à atuação de fortes ventos na região durante o período do experimento, das cinco árvores aneladas, somente duas permaneceram em pé.

Figura 35 - Processo de anelamento. À esquerda, vista geral do tronco e à direita, detalhe da circunscrição do anel



Fonte: a autora.

Durante o período de permanência no campo, com a atuação do processo de anelamento, as árvores foram monitoradas a cada 15 dias, sendo observada a condição de secagem das folhas e infestação por insetos, através da observação visual. Segundo Oliveira (1999) é comum essa ocorrência, visto que, o anelamento provoca a morte da árvore, mesmo que lentamente, e conseqüentemente, a torna vulnerável à ação dos insetos (Figura 36).

Figura 36 - Folhas secas na árvore sob o processo de anelamento e tora tombada e infestada por insetos



Fonte: a autora.

Cabe ressaltar que nenhuma providência em relação à aplicação de produtos químicos foi realizada, considerando que o objetivo inicial do trabalho era utilizar peças de madeira isentas de qualquer tratamento e protegê-las através de detalhes construtivos, assim como desenvolver um projeto de vedação que permitisse sua substituição na edificação, conforme ocorresse a degradação. No entanto, os dados coletados permitiram constatar que não é viável utilizar a madeira sem o tratamento preservativo.

Após a coleta de dados, as árvores foram cortadas, divididas em peças com 3,0m de comprimento e receberam a instalação de *gang nails* visando o controle de fendas de topo, para posteriormente serem transportadas para o local de armazenamento no mesmo dia (Figura 37). Como ferramentas foram utilizadas motosserra, trena e martelo. Os procedimentos foram realizados por um voluntário, morador da zona rural que respondeu positivamente ao questionário, quanto à aptidão em executar a edificação em madeira.

Figura 37 - Toras com a aplicação de *gang nails* e ausência de rachaduras de topo



Fonte: a autora.

As peças ficaram armazenadas em local coberto, ventilado e afastadas do solo, como orientado nas referências bibliográficas (RASMUSSEN, 1968; HILDEBRAND, 1970; PRATT, 1974). O período de armazenamento teve como objetivo possibilitar uma análise visual detalhada em relação ao aparecimento de rachaduras e a verificação da umidade das peças, com o medidor HM 530, da marca Kett (Figura 38). Constatou-se que não ocorreu o aparecimento de rachaduras e a umidade das peças foi reduzida, comprovando a eficiência do processo de anelamento no que diz respeito às deformações oriundas da derrubada da árvore.

Figura 38 - Verificação do teor de umidade nas peças, após o corte da árvore



Fonte: a autora.

O mesmo resultado foi obtido por Aguiar e Jankowsky (1986), assim como por Rozas Mellado (1993), ao avaliarem o mesmo processo de anelamento em árvores de *E. grandis*. Cabe ressaltar que existem muitos trabalhos realizados sobre o processo de anelamento, que avaliam a aplicação em outras espécies de

eucalipto e que utilizam um tempo reduzido de permanência da árvore no campo, dentre eles, Matos e outros (2003). No entanto, considerando o cronograma pré-definido para a finalização da tese e o objetivo da mesma, tornou-se inviável realizar outras avaliações relacionadas ao anelamento e a infestação por insetos na espécie *E. urograndis*.

Conforme já mencionado anteriormente, o *E. grandis* também é uma espécie cultivada na região e já reconhecido nas bibliografias com características adequadas para a construção civil (OLIVEIRA et al., 1999), sendo assim, optou-se por utilizá-lo no desenvolvimento dos protótipos, considerando a utilização de tratamentos preservativos como prevenção. Cabe ressaltar que, embora os estudos tenham sido redirecionados para a utilização dessa espécie, constatou-se a não ocorrência de prejuízo em relação aos objetivos da pesquisa.

As toras de *Eucalyptus grandis*, para a confecção dos protótipos, foram adquiridas em uma empresa especializada no tratamento e comercialização de madeira, através de doação, e levou em consideração o mínimo desperdício com a geração de resíduos e com o consumo de energia, bem como custo reduzido em relação ao sistema convencional em tora. Nesse sentido, os critérios adotados para a escolha foram:

- a) Maior retilidade;
- b) Menor encurvamento (medido no ponto de maior deslocamento, em relação à linha reta entre a base e o topo das peças);
- c) Menor presença de nós; e
- d) Baixa conicidade.

As peças ficam estocadas em lotes, de acordo com a região de procedência e espécie. Em um primeiro momento foi realizada uma análise visual, ponderando a retilidade, a presença de nós e o encurvamento das mesmas e, posteriormente, foi efetivada a seleção em relação à uniformidade do diâmetro e do comprimento (Figura 39).

Figura 39 - À esquerda, disposição das toras para armazenamento em lotes e à direita, processo de descascamento



Fonte: a autora.

3.3. Desenvolvimento do Módulo para Vedação Vertical e Avaliação da Exequibilidade Local

Para o desenvolvimento do projeto, inicialmente delimitou-se o subsistema a ser proposto, ou seja, a vedação vertical, considerando ser o elemento que mais interfere na edificação e o de maior consumo de madeira. O mesmo foi correlacionado às informações do referencial teórico em relação às especificidades projetuais da madeira, às exigências de desempenho para vedação e à infraestrutura disponível, levantada nas visitas *in loco*. Foram definidos os condicionantes projetuais de acordo com as diretrizes pré-estabelecidas, especialmente no que concerne à madeira e aos critérios de desempenho, considerando inclusive aspectos que facilitem a execução do sistema, conforme a seguir especificado:

I. Facilidade de execução:

- a) Especificação de peças com seções comerciais, considerando a necessária facilidade de fornecimento de matéria-prima;
- b) Projeção de cortes e detalhes simplificados, com reduzida interferência na forma original da tora, e com um número reduzido de procedimentos durante a preparação das peças, visando a simplificação do sistema em coerência com a habilidade do provável executor;

- c) Uniformização dimensional dos componentes, visando menor número de gabaritos para a preparação das peças;
- d) Utilização de ferramentas básicas de marcenaria, tais como serra fita, furadeira, plaina desempenadeira, desengrossadeira, esquadrejadeira, tupia e serra circular de bancada;
- e) Padronização das peças com dimensões adequadas à carroceria do veículo transportador e com peso passível de condução por uma pessoa, visando facilitar o transporte dos componentes; e
- f) Execução através de mão-de-obra com conhecimentos básicos de marcenaria, buscando reduzir o custo e possibilitar a produção em sistema tipo “mutirão” ou “autoconstrução”.

II. Condicionantes para a madeira:

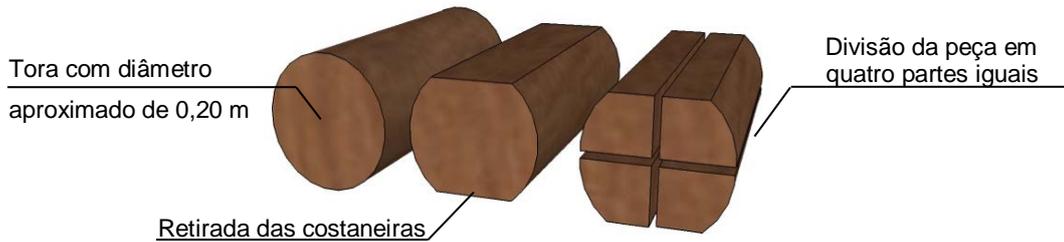
- a) Controle da variação dimensional da madeira e da presença de nós, a fim de evitar o surgimento de frestas e possibilitar a passagem de água através da vedação, respectivamente;
- b) Utilização da madeira com o tratamento preservativo; e
- c) Proteção das peças em relação à umidade excessiva e o ataque de fungos.

III. Exigências de desempenho:

- a) Segurança no uso e na operação;
- b) Estanqueidade;
- c) Durabilidade; e
- d) Segurança estrutural.

Baseado nos condicionantes estabelecidos, a configuração básica do subsistema foi desenvolvida a partir de toras de madeira divididas longitudinalmente em quatro partes iguais, após a retirada das costaneiras (Figura 40), destacando-se que o formato proposto – *Quarter Log* – é semelhante ao adotado e avaliado por Rocha (1994).

Figura 40 - Configuração básica das peças que compõem o módulo para vedação vertical proposto



Fonte: a autora.

Após a realização de estudos e investigações para o desenvolvimento do módulo em questão, quando foram identificados, principalmente, as exigências para a maior durabilidade da madeira, percebeu-se que o formato *Quarter Log* poderia atender às diretrizes de projeto, desde que fossem realizados aprimoramentos no formato da estrutura (pilares e vigas) e no sistema de ajuste das peças *Quarter Log* utilizado por Rocha (1994), conforme detalhado nas figuras 41, 44 e 45. Cabe ressaltar que foram realizadas intensas pesquisas sobre a utilização de formatos semelhantes ao *Quarter Log*, bem como a eventual existência de registro de patentes industriais, e não foi encontrada nenhuma informação de sistema similar ao proposto.

O desenvolvimento do produto foi embasado na experimentação, ou seja, o projeto passou por análises e aperfeiçoamentos consecutivos após as verificações de exequibilidade e do comportamento dos protótipos, através da retroalimentação, com as informações coletadas em cada etapa. Os protótipos foram executados em condições reais de uso, numa serraria localizada no Município de Jaguaré/ES e equipada com ferramentas básicas de marcenaria, conforme condicionantes previstos para a reprodução da técnica.

As toras escolhidas foram divididas em duas peças com cerca de 1,5 m de comprimento cada, considerando ser um tamanho adequado para o projeto da vedação vertical e visando facilitar o transporte até a serraria. As ferramentas utilizadas para essa etapa foram trena e motosserra. Para a realização dos procedimentos foi necessário uma pessoa, inclusive para transportar até o carro.

Foi confeccionado um primeiro protótipo – denominado nº 1 –, considerado como piloto, tendo sido executado principalmente para auxiliar na verificação de

adequabilidade dos detalhes previstos em projeto, destacando-se dentre eles: o diâmetro da barra rosqueada; a possibilidade de utilização da costaneira como anteparo para o espaço gerado pela variação dimensional das peças por perda de umidade; o artifício criado para possibilitar o ajuste das peças através das porcas; e a estanqueidade em relação à água de chuva.

Considerando os objetivos específicos para o protótipo 1, que não envolveram ensaios ou análise de resistência físico-mecânica, não foram obedecidos os critérios estabelecidos na Norma 15.575:2013 que determina as dimensões mínimas de 1,20m x 2,60m, para a realização de determinados ensaios de desempenho, como o de compressão axial, corpo duro e corpo mole. O protótipo foi executado com as medidas de 1,40m x 1,40m, visando seguir a medida sugerida em projeto para o comprimento das peças *Quarter Log* e facilitar o transporte do mesmo.

Para a montagem, optou-se por não empregar toras com tratamento preservativo, com o intuito de aproveitar a situação para analisar a reação das mesmas, ao receber a intervenção após o desdobro e a preparação das peças. Além disso, foi definido o teor de umidade das toras em 20%, para facilitar uma análise comportamental imediata das peças, conforme a redução de umidade e o ajuste do sistema.

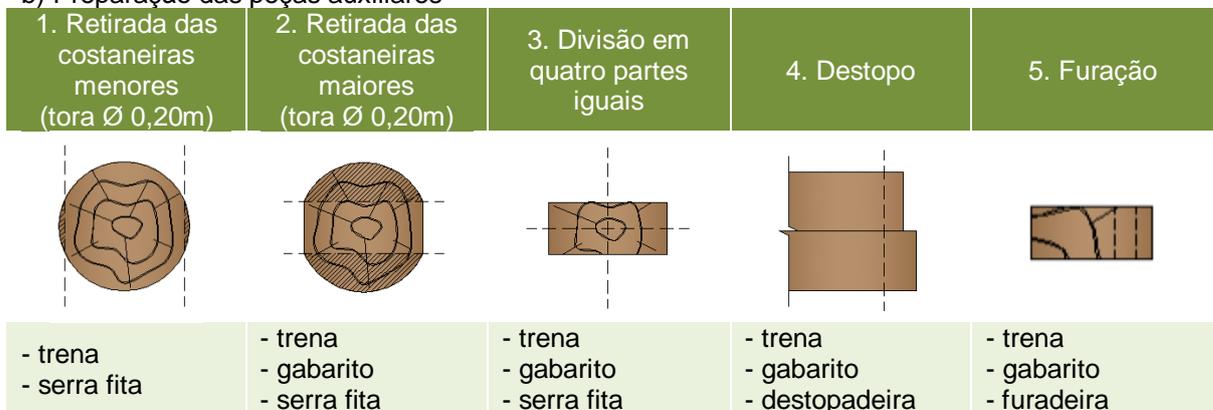
A preparação das peças que compõem o protótipo foi dividida em três etapas, sendo: a) peças *Quarter Log*; b) peça auxiliar para a fixação do anteparo; e c) pilares e vigas. Os procedimentos que compuseram cada etapa, assim como as ferramentas utilizadas, seguem apresentados na Figura 41.

Figura 41 - Esquema de preparação das peças *Quarter Log*, peças auxiliares, pilares e vigas para o protótipo 1, com o respectivo instrumental utilizado

a) Preparação das peças *Quarter Log*



b) Preparação das peças auxiliares



c) Preparação de pilares e vigas



Fonte: a autora.

Após a preparação dos componentes, uma peça *Quarter Log* recebeu três recortes, os quais possibilitam a realização dos ajustes das porcas, conforme a redução dimensional sofrida pelas peças que compõem o protótipo. Para esse procedimento foram utilizadas trena e furadeira. O quantitativo de material empregado para a execução do protótipo 1 foi: três barras rosqueadas (Ø12,70mm = ½”), quatro porcas, quatro arruelas, quatro parafusos e 10 toras

com 1,5m de comprimento. Para a realização de todas as etapas foram necessárias duas pessoas.

Os critérios analisados na etapa de preparação e montagem do protótipo 1 foram: facilidade de execução (máquinas e ferramentas utilizadas) e custo (valor dos materiais e número de trabalhadores). As informações coletadas foram anotadas em planilhas específicas, assim como, as observações relacionadas às possíveis necessidades de melhorias.

O protótipo 1 ficou armazenado por aproximadamente 120 dias em condições adequadas à utilização da madeira, em local coberto, afastado do piso e com ventilação abundante, de maneira que possibilitasse a análise comportamental das peças de acordo com a variação dimensional causada pela perda de umidade. Os registros foram feitos através de fotografias, visando posteriores análises comparativas.

Em seguida o protótipo foi desmontado e as peças receberam o tratamento preservativo em autoclave, com o objetivo de avaliar o comportamento das mesmas após a intervenção. Realizado o procedimento, o protótipo foi montado novamente com o intuito de comprovar alguma alteração sofrida pelas peças. Os procedimentos de montagem e desmontagem foram realizados por duas pessoas e a análise feita visualmente.

Considerando que o sistema construtivo proposto, objetiva cumprir a função de vedação vertical, observou-se a necessidade de avaliar sua capacidade de estanqueidade, visto o resultado obtido ser fundamental para a continuidade dos estudos (PICKETT, 2014). Dessa forma, para a obtenção dos resultados e considerando que as normas inerentes ao assunto exigem condições de laboratório não disponíveis no Estado do Espírito Santo, foi definida uma metodologia específica para a análise sob a ação da água, simulando a água de chuva.

Destaca-se que o teste foi realizado com o objetivo de avaliar e, conseqüentemente, possibilitar o aperfeiçoamento de detalhes projetuais, sendo então utilizado um protótipo com dimensões de 1,40m x 1,40m, que possui peso e área adequada para os testes em campo. Cabe ressaltar que o protótipo não

recebeu a aplicação de produtos que pudessem mitigar a penetração e a absorção da água pela madeira e, assim, influenciar no resultado da análise.

O teste foi conduzido por duas pessoas, sendo uma para simular a ação da chuva e a outra para observar a reação no protótipo. Os instrumentos utilizados foram: mangueira, lavadora de alta pressão (marca Lavor, potência 1600 libras/polegada), esquadro, trena e máquina fotográfica. Embora na região sejam raras as chuvas com ângulo de inclinação em relação à vedação vertical superior a 30°, foram definidos os ângulos de 0° (chuva sem vento); 30° (chuva com vento); e 45° (chuva com fortes ventos).

Embora o jato de água da máquina utilizada seja superior em termos de vazão, se comparado à ação da chuva, manteve-se essa condição, nos ângulos de 30° e 45°, visando observar o resultado para uma condição extrema. Cabe ressaltar que no teste de 0° a máquina de alta pressão não foi utilizada, visto que o jato de água não tocava totalmente o protótipo (Figuras 42 e 43). Para garantir a estabilidade do ângulo durante o tempo de atuação da água sobre o protótipo (30 minutos), utilizou-se uma escada para apoiar a mangueira, nos ângulos de 30° e 45°.

Figura 42 - Análise de estanqueidade realizada no protótipo 1. Em (a), água direcionada paralelamente ao protótipo; e em (b), água direcionada à aproximadamente 30°



(a)



(b)

Fonte: a autora.

Figura 43 – Água direcionada a aproximadamente 45°



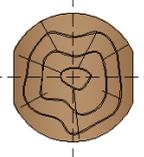
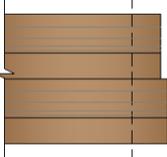
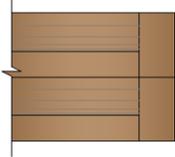
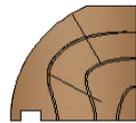
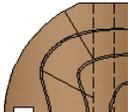
Fonte: a autora.

Para a realização dos testes, o protótipo ficou apoiado sobre tijolos cerâmicos visando simular o afastamento das peças de madeira, em relação ao piso, como sugerido em projeto. A análise da condição de estanqueidade foi realizada através da observação visual e os registros realizados com uma máquina fotográfica de alta resolução.

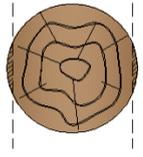
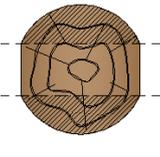
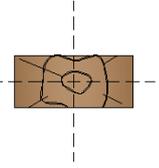
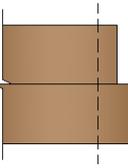
Após a análise dos dados coletados durante a montagem do protótipo 1 e da avaliação de estanqueidade, assim como das observações comportamentais durante os 120 dias de armazenamento, o projeto foi aperfeiçoado e a segunda proposta realizada. As etapas de execução do protótipo 2 foram basicamente as mesmas utilizadas para o protótipo 1, porém alguns detalhes de encaixe foram inseridos e, conseqüentemente, ferramentas e etapas de preparação adicionadas. As Figuras 44 e 45 apresentam as etapas cumpridas, assim como as ferramentas usadas.

Figura 44 - Esquema de preparação das peças *Quarter Log* e das auxiliares para o protótipo 2, com o respectivo instrumental utilizado

a) Preparação das peças *Quarter Log*

1. Retirada das costaneiras (tora Ø 0,20m)	2. Desdobro longitudinal	3. Divisão em quatro partes iguais	4. Destopo
			
- trena - serra fita	- trena - gabarito - serra fita	- trena - gabarito - serra fita	- trena - gabarito - destopadeira
5. Rebaixo nas extremidades	6. Acabamento	7. Pingadeira	8. Furação
			
- trena - gabarito - destopadeira	- desengrossadeira - desempenadeira	- tupia	- trena - gabarito - furadeira

b) Preparação das peças auxiliares

1. Retirada das costaneiras menores (tora Ø 0,20m)	2. Retirada das costaneiras maiores (tora Ø 0,20m)	3. Divisão em quatro partes iguais	4. Destopo	5. Furação
				
- trena - serra fita	- trena - gabarito - serra fita	- trena - gabarito - serra fita	- trena - gabarito - destopadeira	- trena - gabarito - furadeira

Fonte: a autora.

Figura 45 - Esquema de preparação dos pilares e das vigas para o protótipo 2, com o respectivo instrumental utilizado

a) Preparação dos pilares



b) Preparação das vigas



Fonte: a autora.

O quantitativo de material empregado para a execução do protótipo 2 foi: cinco barras rosqueadas (15,87mm = 5/8”), seis porcas, seis arruelas, oito parafusos e 10 toras com 1,5 m de comprimento. O número de trabalhadores e os critérios de avaliação foram os mesmos descritos na realização do protótipo 1, ou seja, preparação, montagem, estanqueidade e comportamento das peças.

Cabe ressaltar que o teste de estanqueidade do protótipo 2 foi realizado por duas vezes, buscando simular situações diferentes. A primeira etapa seguiu todos os procedimentos utilizados no protótipo 1, ou seja, nos ângulos de 0°, 30° e 45°. No entanto, em função dos resultados obtidos no teste anterior e tendo sido identificada a necessidade de aprimoramento da solução adotada, decidiu-se pela aplicação de um produto selador (marca Unifix, MS 35), o qual auxilia na vedação de possíveis frestas. O teste da segunda etapa foi realizado com o protótipo na posição horizontal e a mangueira no ângulo aproximado de 90° (Figura 46).

Figura 46 - Análise de estanqueidade do protótipo 2, colocado na posição horizontal e com a água direcionada à aproximadamente 90°



Fonte: a autora.

Após a avaliação e a constatação da exequibilidade e da estanqueidade do projeto aperfeiçoado, foram confeccionados dois protótipos, com as dimensões exigidas pela NBR 15.575:2013 para a realização dos ensaios laboratoriais (1,40m x 2,60m). As etapas para execução, as ferramentas, a mão de obra utilizada e a escolha das toras foram as mesmas descritas para o protótipo 2, exceto em relação ao teor de umidade, que nesse caso foi de 12,5%, medido através do aparelho HM 530, da marca Kett, conforme sugerido por Silva e Basso (2001).

Destaca-se que os protótipos foram montados no local, considerando que nessa etapa também foi avaliada a facilidade de execução em condições reais de uso, sendo posteriormente transportados inteiros para a Universidade Federal do Espírito Santo, que dista cerca de 200 quilômetros da cidade de Jaguaré.

O conjunto montado – incluindo pilares e vigas – resultaria em um peso aproximado de 305kg para cada modelo. Assim, visando reduzir o custo com o transporte e considerando não haver prejuízo para os procedimentos da pesquisa, os pilares e as vigas que complementam o sistema não foram executados. Os protótipos foram então montados somente com as peças *Quarter Log* e, para evitar qualquer tipo de torção ou desajuste durante o transporte, foram instaladas duas ripas verticais na face plana dos mesmos (Figura 47).

Figura 47 - Protótipos executados para a avaliação de desempenho

Ripas auxiliares



Fonte: a autora.

O quantitativo de material utilizado foi: 10 toras com 1,5m de comprimento, nove barras rosqueadas (15,87mm = 5/8”), nove arruelas, três porcas e seis conectores.

Baseado nos critérios projetuais definidos anteriormente foi realizada uma avaliação do sistema proposto, especificamente em relação ao projeto. O objetivo foi analisar o nível de atendimento do módulo em relação aos aspectos definidos previamente como condicionantes projetuais, seja em relação ao material madeira, à desejável facilidade de execução, bem como ao atendimento aos critérios de desempenho. Em relação especificamente ao desempenho, as análises foram realizadas considerando a segurança no uso e na operação; a estanqueidade; e a durabilidade.

Para a coleta dos dados relacionada ao desenvolvimento do projeto, foram produzidos roteiros síntese de avaliação dos aspectos e condicionantes levantados na revisão bibliográfica, e passíveis de análise na fase projetual. Adotou-se como critério de análise a identificação do atendimento ao condicionante e, quando pertinente, o detalhamento do aspecto avaliado.

3.4. Avaliação da adequabilidade do Módulo para Vedação Vertical - Segurança Estrutural, condicionantes projetuais e custo

O estudo sobre as exigências de desempenho para os sistemas construtivos e a definição das exigências passíveis de avaliação conforme o sistema a ser proposto, foi realizado através de uma análise criteriosa das informações apresentadas pela normatização vigente no Brasil, principalmente a NBR 15.575:2013 (ASSOCIAÇÃO..., 2013) e o reconhecimento da necessidade de delimitação dos critérios passíveis de análise na pesquisa em questão. Sendo assim, baseado nos objetivos da investigação, as exigências definidas pela norma foram analisadas individualmente em relação aos critérios e aos métodos de avaliação (Quadro 5). Buscando maior esclarecimento em relação a cada exigência, no apêndice E apresenta-se a caracterização das mesmas.

QUADRO 5 - COMPILAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE AVALIAÇÃO RECOMENDADAS PELA NBR 15.575:2013

Exigência	Método de avaliação	Exigência	Método de avaliação
Segurança estrutural	Ensaio laboratorial do sistema construtivo	Desempenho luminico	Análise do projeto arquitetônico da edificação e/ou inspeção em protótipo
Segurança contra incêndio	Análise do projeto arquitetônico da edificação e/ou inspeção em protótipo	Durabilidade	Análise do projeto arquitetônico da edificação e do sistema construtivo
Segurança no uso e na operação	Análise do projeto arquitetônico da edificação e do sistema construtivo, e/ou inspeção em protótipo	Manutenibilidade	
		Saúde, higiene e qualidade do ar	Ensaaios laboratoriais
Estanqueidade	Ensaio tipo e/ou análise do projeto arquitetônico da edificação e do sistema construtivo	Funcionalidade e acessibilidade	Análise do projeto arquitetônico da edificação
Desempenho térmico	Cálculo e análise de projeto arquitetônico da edificação	Conforto tátil e antropodinâmico	
Desempenho acústico	Medições realizadas em laboratório e em campo (edificação)	Adequação ambiental	

FONTE: desenvolvido a partir da NBR 15.575:2013 (ASSOCIAÇÃO,...2013).

Nesse sentido, Oliveira e Melhado (2009) sugerem que a delimitação das exigências de desempenho a serem avaliadas seja realizada conforme a definição dos requisitos prioritários para a vedação vertical. Ao correlacionar as informações apresentadas no Quadro 5, com o objeto de estudo da pesquisa –

vedação vertical enquanto projeto e protótipo – entende-se que as exigências passíveis de avaliação na investigação em questão são: etapa de projeto - segurança no uso e na operação, estanqueidade e durabilidade; protótipo - segurança estrutural e estanqueidade.

Na fase de protótipo, considerando o recorte do objeto, a segurança estrutural foi classificada como prioritária, sendo necessária a realização dos ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro, e de resistência à compressão axial simples, conforme determina a NBR 15.575: 2013 (ASSOCIAÇÃO..., 2013). Sendo assim, os protótipos P3 e P4 foram transportados para o Laboratório de Estruturas da Universidade Federal do Espírito Santo e os testes realizados de acordo com as normas de desempenho vigentes no Brasil, durante os meses de agosto e setembro de 2013.

Para os ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro, utilizou-se como referência a NBR 15.575-4: 2013 – Norma de Desempenho (ASSOCIAÇÃO..., 2013), auxiliada pela NBR 11.675: 1990 – Divisórias leves internas moduladas, verificação da resistência a impactos (ASSOCIAÇÃO..., 1990). Foram testados dois protótipos, com dimensões iguais a 1,40m x 2,60m, classificados como vedações verticais externas, sem função estrutural, para casas térreas.

Os ensaios simularam eventuais impactos ocorrendo internamente, ou seja, de dentro para fora. Os protótipos permaneceram estáticos por estarem apoiados em um pórtico de aço e o macaco hidráulico acionado com 1,0 tonelada. A Figura 48 ilustra o posicionamento dos equipamentos citados.

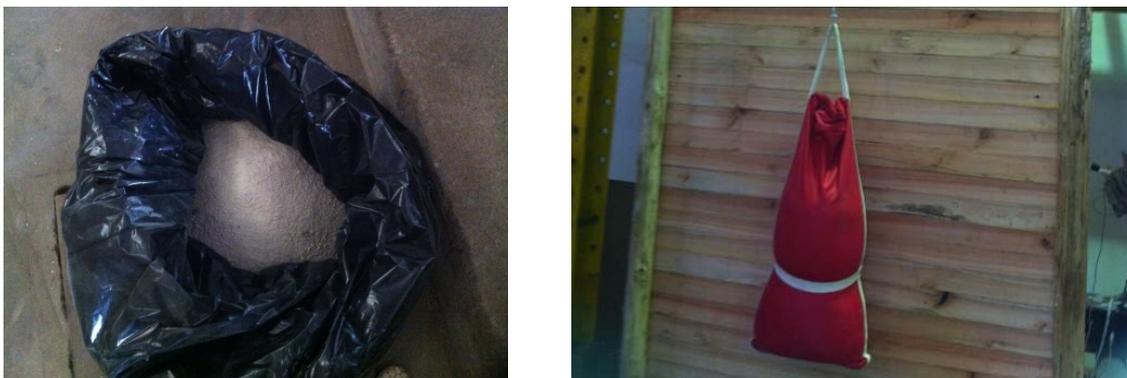
Figura 48 - Esquema de posicionamento dos protótipos para a realização dos ensaios de segurança



Fonte: a autora.

O corpo mole foi simulado por um saco de couro recheado com areia seca com altura aproximada de 0,90m e peso de 40 quilos. Como corpo duro, foram usadas esferas de aço com peso de 0,5Kg e 1,0Kg para simular os impactos de utilização e segurança, respectivamente, conforme determina a NBR 15.575:2013 e a NBR 11.675:1990 (Figuras 49 e 50).

Figura 49 – À esquerda, areia seca e à direita, saco de couro utilizado no ensaio



Fonte: a autora.

Figura 50 – À esquerda, posição da esfera metálica de 0,5kg em relação ao painel e à direita, da esfera de 1 Kg



Fonte: a autora.

Os objetos simuladores de impacto foram sustentados por dispositivos metálicos instalados a uma altura de aproximadamente 0,70m acima dos protótipos e os deslocamentos horizontais – e os residuais quando necessários –, foram aferidos por um defletômetro digital (marca Mitutoyo, IP42, série 575, resolução de 0,01mm e curso de 27 mm) posicionado no meio da parede. Para a tarefa de medição também foi utilizado um paquímetro digital (marca TESA, IP67, com precisão de 0,01mm), conforme ilustra a Figura 51.

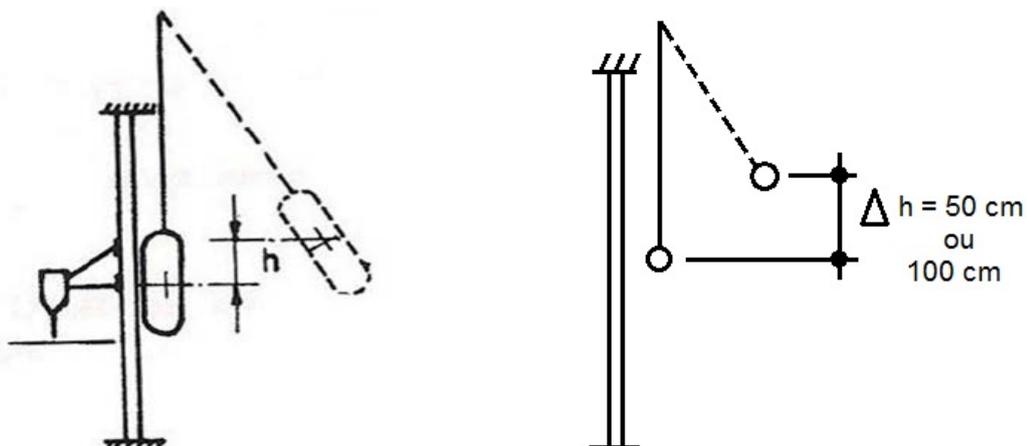
Figura 51 – À esquerda, defletômetro e à direita, paquímetro utilizados nos ensaios



Fonte: a autora.

O saco de areia e as esferas foram pendidos a alturas pré-determinadas pela norma – 0,15m, 0,30m, 0,45m, 0,60m e 0,90m –, com a finalidade de provocar os choques conforme as energias definidas, devendo atingir os corpos de prova sem repiques (Figura 52).

Figura 52 - Esquema para o ensaio de corpo mole e de corpo duro



Fonte: ABNT (1990, p. 05 e p. 04).

Para o impacto de corpo mole, foi simulado um choque para cada altura e energia, conforme detalhado na Tabela 2, direcionado para o centro do protótipo (Figura 53).

Tabela 2 - Altura de arremesso e energia resultante para a realização do ensaio de corpo mole

Impacto	m (Kg)	h (m)	E (J)
Simular um impacto de corpo mole, conforme a NBR 11.675, de acordo com a energia resultante	40	0,15	60
	40	0,30	120
	40	0,45	180
	40	0,60	240
	40	0,90	360

Fonte: Elaborado a partir de Salado (2011).

Figura 53 – À esquerda, barra escalonada e à direita, detalhe do cilindro metálico em relação à barra de medição utilizada no ensaio



Fonte: a autora.

Assim como no ensaio descrito anteriormente, para o de corpo duro, foram provocados impactos sem repiques para cada altura e energia (Tabela 3), em três pontos, sendo um centralizado e os outros afastados aproximadamente 0,15m de cada extremidade, com o intuito de evitar que os choques ocorressem exatamente no mesmo local.

Tabela 3 - Valores adotados para a realização do ensaio de corpo duro

Impacto	m (Kg)	h (m)	E (J)
Aplicar 10 impactos de corpo duro para cada energia	1,0	1,00	10,0
	1,0	2,00	20,0
	1,0	3,00	30,0
	0,5	0,50	2,50
	0,5	0,75	3,75
	0,5	1,00	5,00

Fonte: Elaborado a partir de Salado (2011).

Após a aplicação de cada impacto, as profundidades das mossas geradas foram medidas através do paquímetro digital (marca TESA, IP67, com precisão de 0,01mm) e possíveis falhas, fissuras e deslocamentos foram observados (Figura 54).

Figura 54 - Mossas geradas no protótipo, após a realização do ensaio de corpo duro

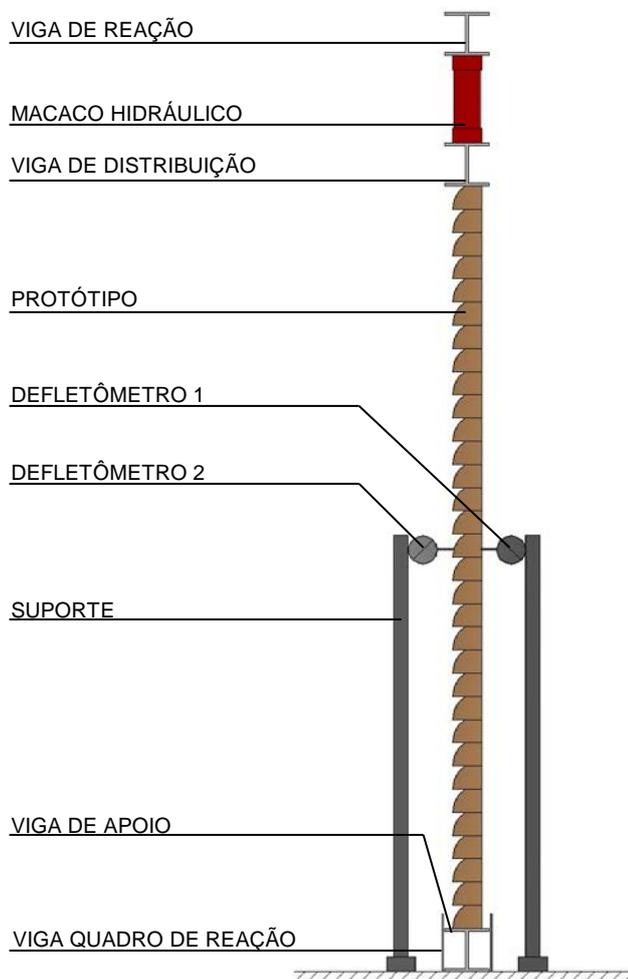


Fonte: a autora.

Para a realização do ensaio de compressão axial simples, foi utilizada a NBR 15.575:2013, auxiliada pela NBR 8949:1985 (Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio). Foram testados dois protótipos sendo utilizados: um pórtico de reação, um macaco hidráulico acionado por uma bomba hidráulica, uma célula de carga com capacidade para 20 toneladas, duas vigas metálicas do tipo perfil I para a distribuição uniforme das cargas sobre os protótipos, e dois defletômetros digitais (marca Mitutoyo, IP42, série 575, resolução de 0,01mm e curso de 27 mm) para medir os encurtamentos e as possíveis flechas.

Utilizando os instrumentos citados, o ensaio foi estruturado e os protótipos posicionados no equipamento, acoplado a duas peças de ligação, tanto na base como na parte superior. No centro de cada face do protótipo foi posicionado um defletômetro, para aferir os deslocamentos horizontais, conforme as Figuras 55 e 56.

Figura 55 - Corte esquema de posicionamento dos elementos no ensaio de compressão axial simples



Fonte: a autora.

Figura 56 - Posicionamento dos defletômetro 1 (à esquerda) e 2 (à direita)



Fonte: a autora.

A velocidade de carregamento foi lenta e orientada pelo Prof. Dr. Fernando Avancini Tristão, coordenador do LEMAC - Laboratório de Materiais da Universidade Federal do Espírito Santo, e dos técnicos que operavam os equipamentos, seguindo a aplicação das cargas em incrementos de uma tonelada, sendo que cada nível de carregamento, permaneceu sobre o protótipo até a estabilização dos dados dos defletômetros, e as leituras foram realizadas antes de elevar a carga novamente. Os dados obtidos em cada ensaio foram anotados em planilhas pré-definidas, para posterior análise e comparação. O detalhamento dos resultados alcançados encontram-se na Seção 4.5.

Buscando avaliar o sistema proposto em relação ao custo de materiais, realizou-se uma análise comparativa em relação ao sistema convencional de toras empilhadas. Os dados relacionados ao sistema proposto foram levantados durante a confecção dos protótipos e as informações referentes ao sistema de toras empilhadas foram adquiridas através de consulta a uma empresa especializada na construção de habitações com a técnica referenciada. As informações coletadas foram compiladas em tabelas e o detalhamento é apresentado na Seção 4.3.

3.5. Análise dos Resultados Alcançados

Os dados obtidos através da avaliação do módulo, enquanto projeto e protótipo, foram analisados a partir das informações coletadas na revisão bibliográfica e dos parâmetros de avaliação especificados pela norma de desempenho vigente no Brasil, para posterior comprovação de atendimento ao objetivo da pesquisa. O detalhamento dos resultados alcançados e a discussão dos mesmos encontram-se nas Seções 4 e 5, respectivamente.

4. RESULTADOS ALCANÇADOS

Os resultados alcançados seguem relatados de acordo com as etapas metodológicas, sendo inicialmente apresentada a caracterização do público alvo e, posteriormente, descritos os procedimentos de execução dos protótipos utilizados para os testes; o projeto do módulo para vedação, denominado *Quarter Log*; o custo comparativo do subsistema; e a avaliação do subsistema *Quarter Log* em relação às diretrizes projetuais estabelecidas e à segurança estrutural, com suas respectivas análises.

4.1. Condicionantes de Projeto

Conforme descrito na Seção 3.1.1, para caracterizar detalhadamente o público alvo da investigação, foi necessário realizar uma pesquisa sobre a aceitabilidade da madeira pela população residente na zona rural, do município de Jaguaré. De acordo com a entrevista realizada com o responsável pelo Sindicato Rural de Jaguaré, Sr. Elder Sossai de Lima, o município possui 2.200 produtores rurais, dos quais somente 350 são sindicalizados. Baseado nos dados fornecidos pelo sindicato e a disponibilidade das pessoas para participar da pesquisa, foram obtidos 134 trabalhadores respondentes, habitantes da zona rural.

Dentre os dados coletados, foi possível perceber que 63% das pessoas entrevistadas possuem vínculo empregatício formal, e aproximadamente 84%, trabalham no cultivo do café, atividade predominante na região. O resultado contribuiu de maneira positiva com o desenvolvimento da investigação, já que 94% dos entrevistados afirmaram que morariam em uma casa de madeira e 55% demonstrou confiança para executar as mesmas no sistema de autoconstrução.

É importante esclarecer que, embora o *Eucalyptus* seja de grande importância na economia local, seu cultivo não exige o cuidado diário, necessitando de mão de obra somente no período de preparo do solo antes da plantação (compactação, combate às formigas, adubação, calagem, etc.); de manejos culturais, como a capina, principalmente no primeiro ano; e do corte, sendo essa etapa, na maioria das vezes realizada pela empresa de celulose que comprou o produto. Esse aspecto, embora reduza o número de pessoas envolvidas no ciclo produtivo, não exclui o contato dos trabalhadores e da população local com a planta, assim como o conhecimento e a familiaridade sobre o manuseio da mesma.

A pesquisa permitiu reconhecer que a dificuldade de acesso à infraestrutura e à mão de obra necessária para a construção civil estimula os moradores da região a serem os executores de sua moradia, mesmo sem conhecimento técnico adequado. Cerca de 41% dos entrevistados possuem experiência com a construção civil e 40% já exerceram atividades que exigiram o manuseio de ferramentas básicas de marcenaria para a execução de subsistemas, como por exemplo, o madeiramento de coberturas.

Observou-se que a proximidade com essas ferramentas está diretamente relacionada à confiança dos mesmos para que executem as suas edificações em madeira, constatando-se que 55% consideraram-se aptos à atividade citada. É importante destacar que a maior parte – 94% – entende que a madeira é um material adequado para a construção da moradia.

Durante as entrevistas foi possível diagnosticar que a aceitabilidade da madeira na habitação está relacionada ao conhecimento de que a mesma possui características técnicas que permitem a sua utilização para o uso citado, mas que a execução de maneira inadequada pode acarretar no funcionamento impróprio para o uso, como por exemplo, na menor durabilidade da edificação.

Os resultados obtidos com a pesquisa junto à amostra da provável população alvo demonstrou a efetiva aceitabilidade do material condicionado, porém, a necessidade de elaboração de um manual detalhado de procedimentos e/ou do acompanhamento de um técnico ou profissional especializado na orientação dos processos para a preparação e montagem da habitação.

O desenvolvimento do projeto seguiu condicionantes pré-definidos nas etapas que embasaram e antecederam a sua realização, e foram divididas em três grupos: facilidade de execução, condicionantes projetuais e exigências de desempenho. A pesquisa de campo foi de fundamental importância para estipular a infraestrutura disponível na região em relação ao levantamento das ferramentas de marcenaria e direcionar o desenvolvimento do projeto, buscando a facilidade de execução.

Durante a revisão bibliográfica foi possível conhecer e estudar sistemas construtivos em madeira, tradicionais e inovadores, os quais proporcionaram o conhecimento sobre detalhes de projeto essenciais e específicos para a madeira, assim como, adaptações projetuais conforme as realidades de vários locais de execução, contribuindo para a definição dos condicionantes projetuais.

4.2. Proposta de Módulo para Vedação Vertical *Quarter Log*

Considerando que o sistema construtivo é formado por um conjunto de subsistemas – fundação, estrutura, vedação, esquadria e cobertura – para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário definir o subsistema a ser proposto, ou seja, um módulo para vedação vertical.

A vedação vertical, juntamente com as esquadrias e os revestimentos, são empregados para oferecer condições de habitabilidade aos usuários e, dentre suas várias funções, destaca-se a de definir limites entre o meio externo e interno do edifício, e de atuar estruturalmente e esteticamente (ELDER, 1977). Para Sabbatini e Franco (2001) a vedação vertical deve ser classificada de acordo com a:

- a) Disposição no edifício: vedação interna e vedação externa;
- b) Técnica de execução: moldagem a úmido no local, acoplamento a seco (montagem através da fixação por pregos ou parafusos), e acoplamento úmido (montagem a seco dos componentes, com solidarização posterior por argamassa ou concreto);

- c) Densidade superficial: leve (vedação de baixa densidade superficial, de 60 a 100Kg/m²); e pesada (densidade superior ao limite convencionado, e pode ou não, ter função estrutural);
- d) Estruturação: autoportante; e estruturada: possui estrutura reticulada para suportar os componentes da vedação;
- e) Continuidade do plano: contínua (a absorção dos esforços ocorre no plano como um todo), e descontínua (a absorção é distribuída para a estrutura); e
- f) Visibilidade das juntas: monolítica (sem juntas aparentes), e modular (com juntas aparentes).

Ao correlacionar as informações apresentadas e a classificação especificada por Sabbatini e Franco (2001), entende-se que o objeto de estudo da pesquisa em questão é caracterizado como módulo para vedação vertical, com execução por acoplamento a seco, pesada, estruturada, descontínua, modular (quanto à visibilidade das juntas), e semi-industrializada (em relação ao processo de fabricação).

Conforme descrito na Seção 3.3, a verificação de exequibilidade do módulo proposto está embasada na experimentação, análise e aperfeiçoamentos consecutivos do produto, através da retroalimentação, com as informações coletadas em cada etapa de desenvolvimento. A seguir será descrito cada etapa de aperfeiçoamento do produto, concomitantemente a montagem dos protótipos e apresentado o projeto proposto para o módulo *Quarter Log*.

Para o desenvolvimento do módulo em questão foram consideradas as características das toras comumente encontradas na região de estudo e essas foram correlacionadas à economia da quantidade de madeira e à facilidade de execução, através das ferramentas disponíveis no local de estudo. Considerando que no mercado geralmente encontra-se tora com o comprimento de 3,0m, optou-se por adotar a modulação final de 1,40m para o comprimento das peças *Quarter Log*, objetivando principalmente:

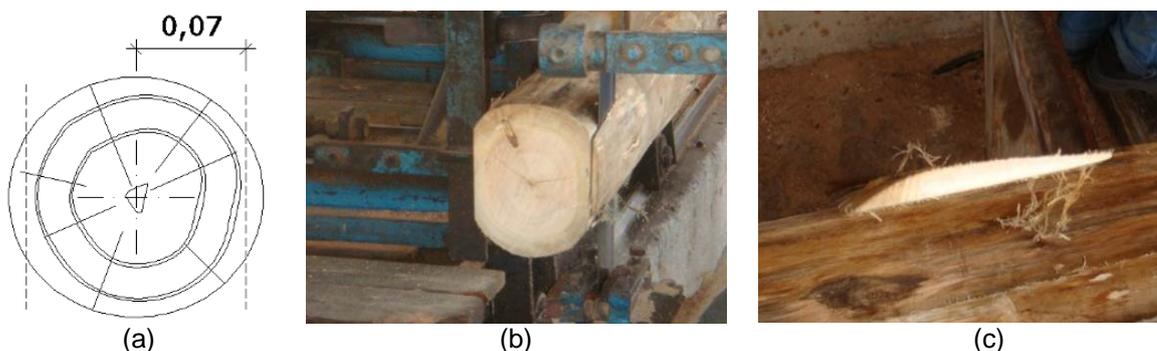
- a) Maior aproveitamento das toras no processo de destopo, sendo que geralmente adota-se 0,10m para essa regularização;
- b) Facilidade no transporte e no armazenamento dos componentes; e

- c) Praticidade na montagem e desmontagem da construção, devido ao peso de cada elemento em *Quarter Log* ser de aproximadamente 5,0 quilos, considerando a umidade da madeira de 12,5%.

4.2.1. Execução do Protótipo 1

O protótipo 1 foi executado com o intuito de testar e avaliar a proposta projetual, em relação às medidas sugeridas para a preparação das peças de madeira e quanto ao comportamento dos componentes após a montagem. Inicialmente foram preparadas as peças *Quarter Log* para analisar a medida média da espessura das mesmas, devido à variação de conicidade das toras. As peças foram marcadas, formando um eixo, estabelecido como linha guia para a definição da altura das costaneiras. Considerando que a altura definida foi de 0,07m, a espessura da costaneira foi de aproximadamente 0,01m, medida inadequada para seu aproveitamento em detalhes projetuais (Figura 57).

Figura 57 - Processo de retirada das costaneiras. Em (a), desenho esquemático da tora; em (b), processo de serragem; e em (c), vista da costaneira



Fonte: a autora.

Após a retirada das costaneiras, foi realizado o desdobro central e, posteriormente, a divisão da tora em quatro partes iguais (Figura 58).

Figura 58 - Processo de divisão das peças em quatro partes iguais. À esquerda, o primeiro desdobro longitudinal dividindo a peça em duas partes e, à direita, divisão seguinte resultando nas quatro peças *Quarter Log*



Fonte: a autora.

Em seguida, as peças foram alinhadas em relação a uma extremidade, de maneira que permitisse a comparação dos comprimentos e, conseqüentemente, a definição da medida para o destopo, finalizando as peças com 1,40m. Posteriormente, foi confeccionado outro gabarito, baseado na peça de menor profundidade, para auxiliar na furação dos componentes *Quarter Log* visando a criação dos orifícios por onde seriam inseridas as barras rosqueadas (Figura 59).

Figura 59 - Processo de destopo (à esquerda) e fixação do gabarito para furação das peças (à direita)



Fonte: a autora.

A princípio o projeto considerou a utilização de duas barras rosqueadas, inseridas nas extremidades das peças. O posicionamento dos furos a uma distância de

0,16m a partir do extremo, foi definido com o intuito de evitar deformação nas pontas das peças e, conseqüentemente, o aparecimento de frestas na sobreposição das mesmas (Figura 60).

Figura 60 - Posicionamento do furo para a inserção da barra rosqueada



Fonte: a autora.

Concomitantemente a furação das peças citadas, foram preparadas as vigas para receberem as barras rosqueadas com 12,70mm (1/2") de diâmetro, assim como as peças *Quarter Log* (Figura 61).

Figura 61 – À esquerda, furação das vigas e à direita, montagem do protótipo com as barras rosqueadas



Fonte: a autora.

Considerando que uma das diretrizes projetuais é possibilitar o ajuste das peças de maneira que não permitam o aparecimento de frestas na vedação, a última

peça *Quarter Log* foi preparada com um recorte, através do qual é possível ter acesso a porca e utilizar a chave de boca para ajustar o subsistema (Figura 62). As dimensões do recorte foram definidas conforme a necessidade de espaço para a inserção da chave de boca de rotação da mesma. Sendo assim, o detalhe projetual citado possui 0,10m de largura, 0,05m de altura e 0,06m de profundidade. Como forma de acabamento, propõe-se que sejam utilizadas peças de madeira serrada com medidas equivalentes às do recorte, para cobrir o espaço, caso necessário.

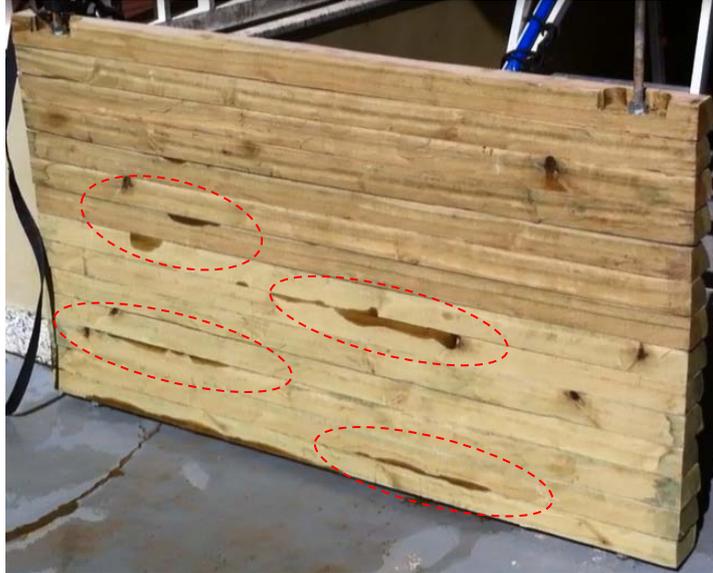
Figura 62 - À esquerda, detalhe do recorte para ajuste das peças e à direita, protótipo montado



Fonte: a autora.

Após a sua montagem o protótipo foi submetido ao teste de estanqueidade conforme detalhado na Seção 3.3. Através do teste foi possível perceber o aparecimento de manchas de umidade na junção das peças *Quarter Log* (Figuras 63, 64 e 65).

Figura 63 - Manchas de umidade na face interna do protótipo após 30 minutos de lançamento da água em um ângulo de 30° em relação ao mesmo



Fonte: a autora.

Figura 64 - Manchas de umidade na face interna do protótipo após 30 minutos de lançamento da água em um ângulo de 60° em relação ao mesmo



Fonte: a autora.

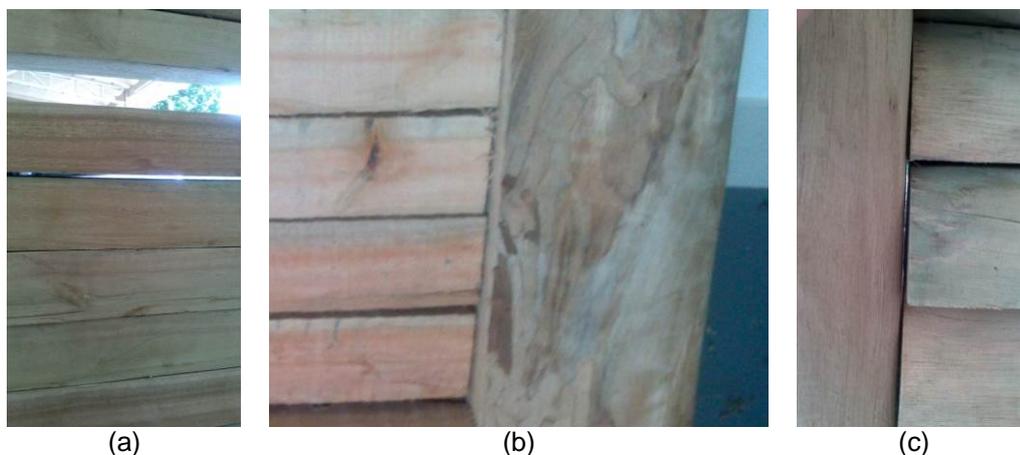
Figura 65 - Manchas de umidade na face interna do protótipo após 30 minutos de lançamento da água em um ângulo de 0° em relação ao mesmo



Fonte: a autora.

O resultado apresentado comprovou a existência de frestas entre as peças *Quarter Log*, detalhe que interfere diretamente na estanqueidade do sistema. Nesse sentido, buscando analisar detalhadamente a existência de frestas, assim como o comportamento das peças de acordo com a variação dimensional causada pela perda de umidade, o protótipo ficou armazenado por 120 dias em condições adequadas à utilização da madeira, em local coberto, afastado do piso e com ventilação abundante. Durante esse período foi possível observar o aparecimento de frestas maiores entre as peças *Quarter Log* e na ligação das mesmas com os pilares (Figura 66).

Figura 66 - Frestas verificadas no Protótipo 1. Em (a) espaçamento gerado pela variação dimensional sofrida pelas peças; em (b), frestas entre as peças *Quarter log*; e em (c), fresta entre o pilar e a vedação em *Quarter Log*



Fonte: a autora.

Diante dos dados coletados, entendeu-se que o furo realizado para o transpasse das barras rosqueadas não possuía diâmetro adequado para que as peças de madeira deslizassem facilmente, durante o procedimento de ajuste, fato que contribuiu para o aparecimento das frestas. Percebeu-se também a necessidade de utilizar barras rosqueadas com diâmetro maior e de inserir uma barra central, buscando impedir o aparecimento de frestas entre as peças *Quarter Log*. Além disso, foi diagnosticada a importância de realizar o acabamento das peças *Quarter Log*, para proporcionar maior exatidão e aderência entre as mesmas, assim como de pingadeiras para contribuírem com a estanqueidade do sistema.

Cabe ressaltar que após 120 dias da execução, as peças receberam o tratamento preservativo em autoclave e não foi constatada nenhuma alteração visível no conjunto ou nas peças individuais.

4.2.2. Execução dos Protótipos 2, 3 e 4

Baseado nas informações coletadas através do protótipo 1, o projeto passou por um processo de aperfeiçoamento e as alterações ocorridas foram avaliadas durante a execução do protótipo 2. Buscando solucionar os problemas diagnosticados, foram adotadas as seguintes soluções:

- a) Utilização de barras rosqueadas com 15,87mm (5/8") de diâmetro;
- b) Realização de furo para o transpasse das barras, com o diâmetro maior que o das mesmas – 19,05mm (3/4");
- c) Inserção de uma barra rosqueada no vão central, totalizando três barras;
- d) Inclusão das ferramentas plaina desempenadeira e desengrossadeira para realizar o acabamento nas peças *Quarter Log*;
- e) Realização da pingadeira, através da ferramenta tupia (Figura 67).
- f) Especificação de peça serrada para acabamento entre os módulos em *Quarter Log* e os pilares estruturais; e
- g) Alteração no formato dos pilares de ligação entre os módulos formados com as peças *Quarter Log*, de maneira que as frestas causadas pela variação dimensional dos elementos fiquem ocultadas. Diante da opção definida, percebeu-se a necessidade de realizar um rebaixo nas extremidades das peças *Quarter Log*, para encaixar os pilares sem espaçamentos por causa do formato das mesmas (Figura 68).

Figura 67 - Pingadeira realizada nas peças *Quarter Log*



Fonte: a autora.

Figura 68 - Imagens do protótipo 2. À esquerda, encaixe entre as peças *Quarter Log* e os pilares de ligação. À direita, vista externa do detalhe



Fonte: a autora.

Após análise de execução e funcionamento dos detalhes aprimorados para solucionar os defeitos diagnosticados no protótipo 1, constatou-se o funcionamento adequado das alterações. Assim como o protótipo 1, o protótipo 2 foi submetido ao teste de estanqueidade entre as peças *Quarter Log* simulando a atuação da água de chuva. Como descrito na Seção 3.3 a análise do protótipo 2 foi realizada em duas etapas. A primeira etapa foi executada com os materiais e método utilizado no protótipo 1 – ângulos de 30°, 45° e 60° - e foi possível perceber o aparecimento de mancha de umidade somente em um ponto na face interna do protótipo (Figura 69).

Figura 69 - Resultado observado após a realização do teste de estanqueidade no protótipo 2



Fonte: a autora.

Considerando a estanqueidade do restante do protótipo e que exatamente no ponto de aparecimento da mancha de umidade existe um nó na peça de madeira, cogitou-se a hipótese da água ser absorvida por essa falha da madeira (Figura 70).

Figura 70 - Nó existente em uma das peças *Quarter Log* que compõe o protótipo 2



Fonte: a autora.

Sendo assim, optou-se por, após a secagem das peças de madeira, aplicar um produto selador auxiliar (marca Unifix, MS35) para vedar possíveis frestas entre as peças *Quarter Log* e realizar o teste com o protótipo na posição horizontal e a água direcionada à aproximadamente 90° (Figura 71).

Figura 71 - Realização da segunda etapa do teste de estanqueidade no protótipo 2, sendo à esquerda a aplicação do produto selador na junção das peças *Quarter Log* e à direita, protótipo na direção horizontal e água direcionada à aproximadamente 90°



Fonte: a autora.

Durante a realização do teste foi possível perceber a estanqueidade do protótipo de maneira geral, e o aparecimento da mancha de umidade exatamente no ponto citado anteriormente (Figura 72). O dado coletado possibilita concluir que a mancha de umidade foi ocasionada pela água absorvida pelo nó existente na peça *Quarter Log*.

Figura 72 - Mancha de umidade no protótipo 2, após a realização da segunda etapa do teste de estanqueidade



Fonte: a autora.

Sendo assim, entende-se que o sistema, com os necessários ajustes e aprimoramentos, atende ao requisito de estanqueidade, permitindo assim a continuidade nos ensaios. A partir desses resultados, foram então executados os dois protótipos necessários para a realização dos ensaios laboratoriais (P3 e P4), com dimensões de 1,40m x 2,60m. Observa-se que durante o período de realização dos ensaios mecânicos – aproximadamente 120 dias –, foi possível monitorar o comportamento das peças de madeira em relação ao surgimento de frestas que pudessem prejudicar a estanqueidade do sistema. Embora não tenha sido objeto de análise, observou-se que o sistema, provavelmente em função do travamento das peças com as barras rosqueadas, formam um conjunto rígido, não sendo visível o surgimento de frestas (Figura 73).

Figura 73 - Imagem aproximada do protótipo 3 onde se constata o não surgimento de frestas entre as peças *Quarter Log*

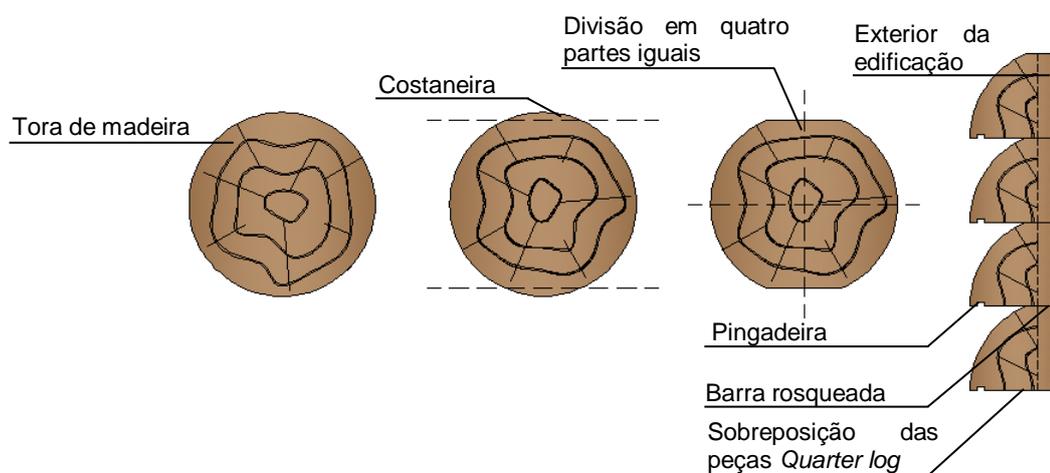


Fonte: a autora.

4.2.3. Definição do Projeto para Vedação Vertical *Quarter Log*

O módulo foi desenvolvido a partir da configuração básica de toras de madeira divididas longitudinalmente em quatro partes iguais, após a retirada das costaneiras, obtendo-se assim, as peças *Quarter Log*, semelhante ao adotado por Rocha (1994). A Figura 74 representa o esquema de preparação e sobreposição das mesmas.

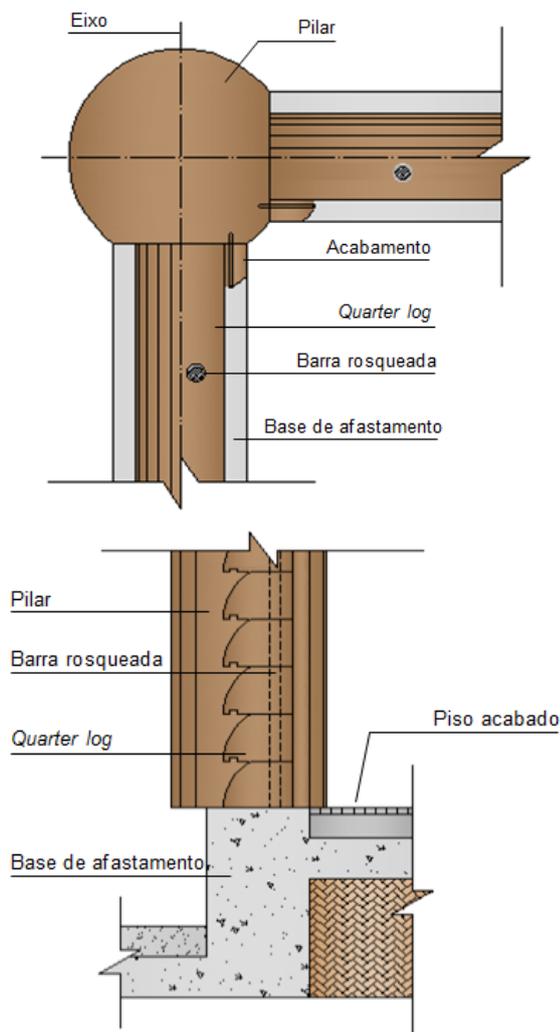
Figura 74 - Esquema de preparação e sobreposição das peças que compõem a vedação proposta



Fonte: a autora.

Observa-se, que além de reduzir o quantitativo da matéria prima, quando comparado ao sistema tradicional de toras sobrepostas, o módulo proposto possibilita que o interior das edificações tenha paredes lisas, ou seja, sem a ondulação das vedações compostas por tora. Outra característica importante é a não retenção da água de chuva no exterior, visto que as peças que compõem a vedação conformam “pingadeiras” naturais, cuja funcionalidade pode ser otimizada com a inserção de uma pequena ranhura ao longo de toda a peça, conforme demonstrado na Figura 74. A Figura 75 representa a junção das partes que compõem o módulo, de maneira individual e independente da estrutura (pilar e viga).

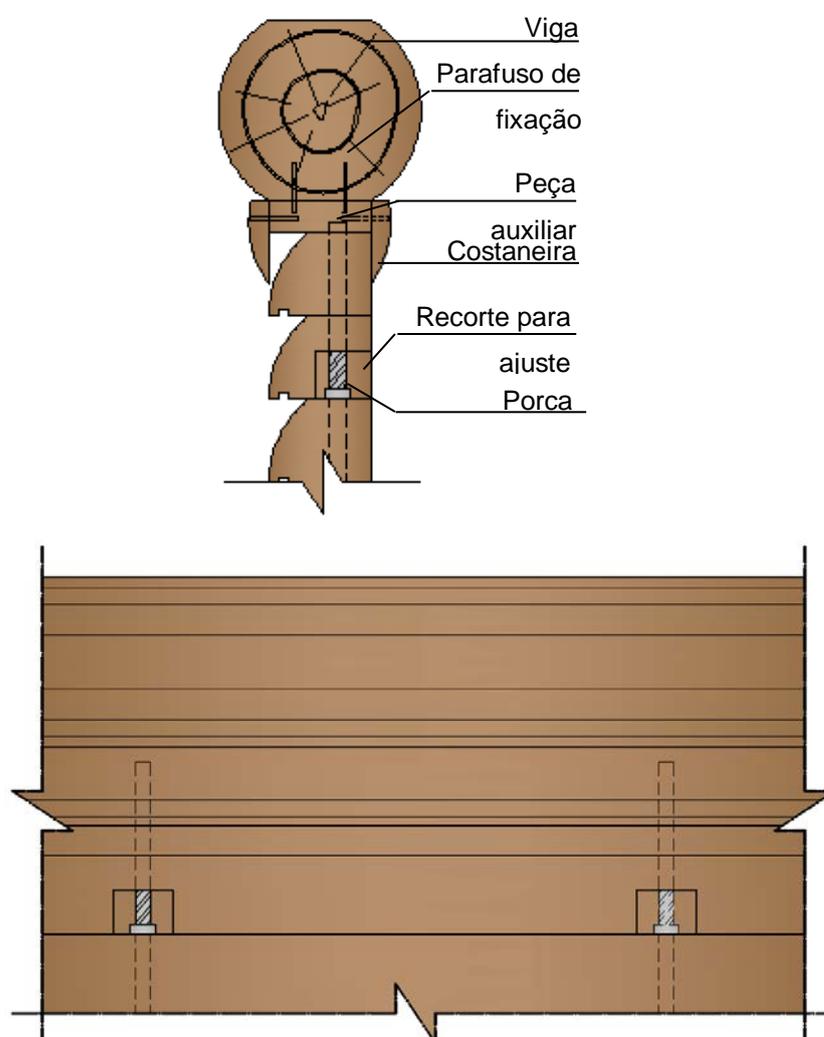
Figura 75 - Detalhe de ligação entre módulo e estrutura. Acima, vista superior da ligação pilar-módulo e abaixo, corte vertical do módulo



Fonte: a autora.

A união das peças é realizada por barras rosqueadas, afastadas aproximadamente 0,50m entre elas, sendo três barras para o módulo de 1,40m, que auxiliam na promoção da estabilidade e da resistência do subsistema, assim como permitem o ajuste da vedação conforme a variação dimensional das partes, provocada pela perda de umidade. Esse ajuste é possível através de um recorte realizado no último elemento, visando o acesso à barra rosqueada onde uma porca permite a torção, através da utilização de uma chave de boca (Figura 76).

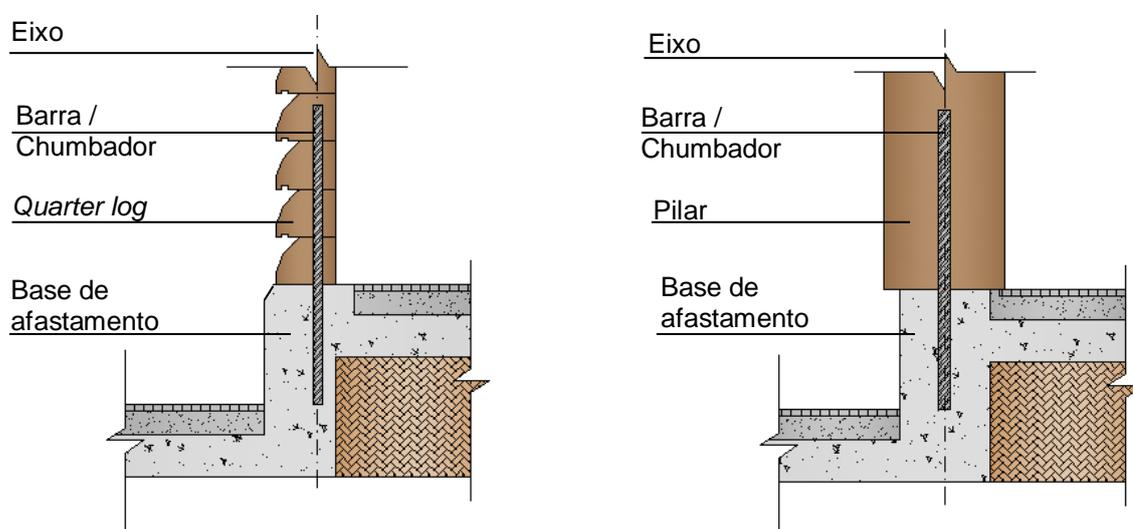
Figura 76 - Detalhe de ajuste das peças *Quarter log*, sendo acima, corte vertical da vedação e abaixo, vista interna da vedação



Fonte: a autora.

Cabe ressaltar que, além das barras rosqueadas que unem as peças *Quarter Log*, a estabilidade da vedação é garantida por barras ou chumbadores fincados na base da edificação, afastados aproximadamente 0,55m, sendo três barras ou chumbadores para o módulo de 1,40m. O mesmo detalhe projetual é proposto para a fixação dos pilares (Figura 77).

Figura 77 - Detalhe de fixação vedação-base e pilar-base, sendo à direita, solução adotada para a estabilização da vedação na base de afastamento, através de barras. À esquerda, fixação do pilar na base de afastamento, através de barras

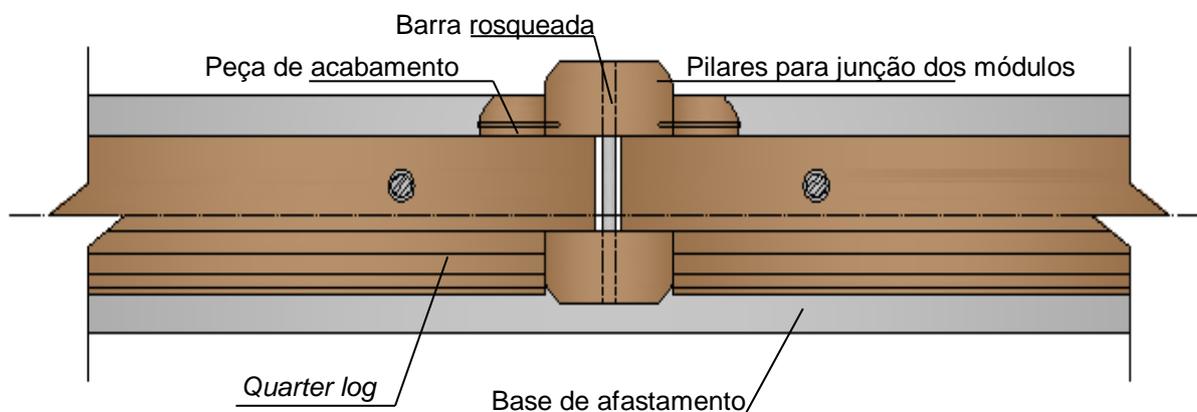


Fonte: a autora.

Considerando as especificidades do material madeira, para evitar a redução da vida útil da edificação em função da ação indesejável do acúmulo de água, propõe-se que o módulo seja instalado sobre uma base de concreto ou outro material resistente à ação da umidade, com altura aproximada de 0,20m em relação ao piso.

Para a junção dos módulos de 1,40m em *Quarter Log*, são utilizados pilares com diâmetro aproximado de 0,12m, divididos em duas partes iguais, após a retirada das costaneiras. E para evitar o aparecimento de frestas no encontro entre os pilares e as peças *Quarter Log*, foi proposta uma peça auxiliar, tipo régua, para o acabamento interno, fixada na estrutura, conforme ilustrado na Figura 78.

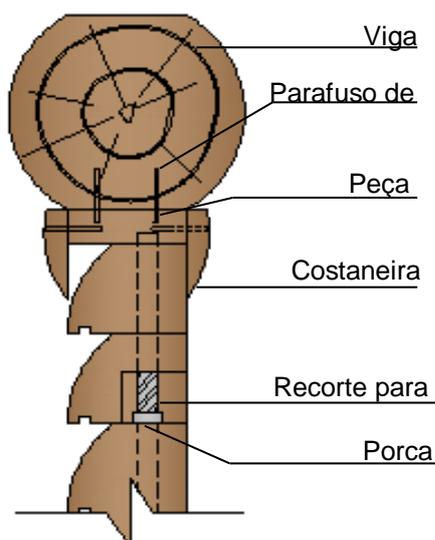
Figura 78 - Vista superior do detalhe de ligação entre os módulos de vedação e as peças de acabamento entre vedação e pilar



Fonte: a autora.

Para cobrir o espaço ocasionado pela acomodação das peças em função da perda de umidade, propõe-se a fixação da costaneira retirada das toras para a fabricação das peças auxiliares, inseridas entre as vigas e as peças *Quarter Log*, nas quais a costaneira é fixada, conforme demonstrado na Figura 79.

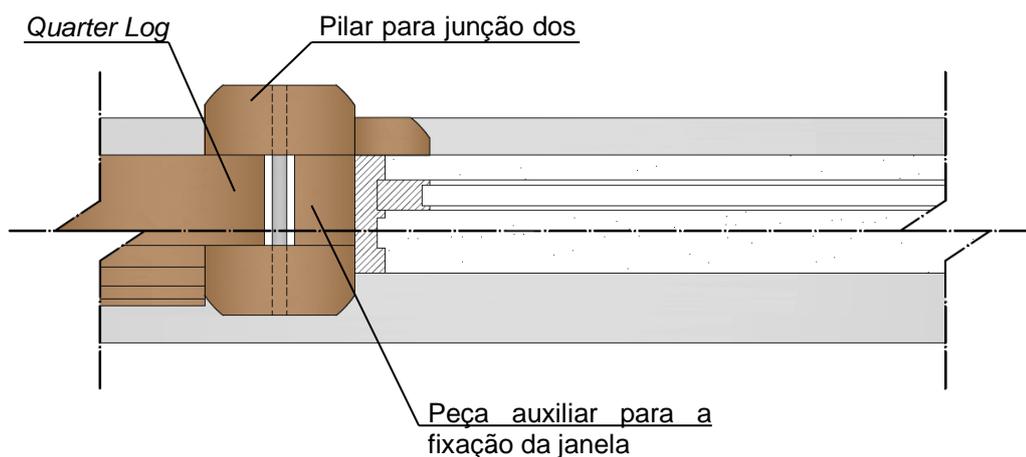
Figura 79 - Detalhe de fixação da costaneira para acabamento – corte vertical



Fonte: a autora.

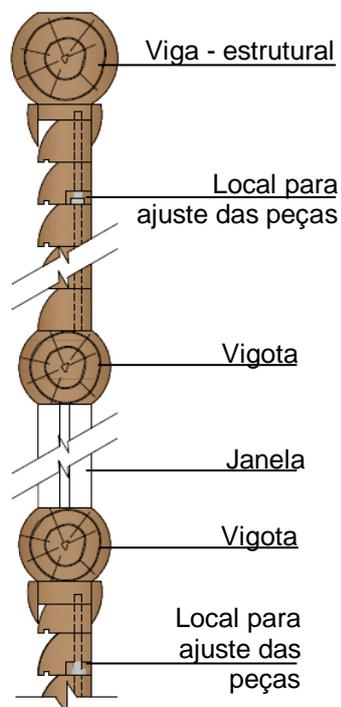
As esquadrias de portas e janelas são instaladas independentemente da vedação vertical, de maneira que possibilite o ajuste das peças *Quarter Log* e não comprometa o funcionamento adequado dos componentes do subsistema (Figuras 80 e 81).

Figura 80 - Detalhe de fixação da janela – planta baixa



Fonte: a autora.

Figura 81 - Detalhe de fixação da janela, corte vertical

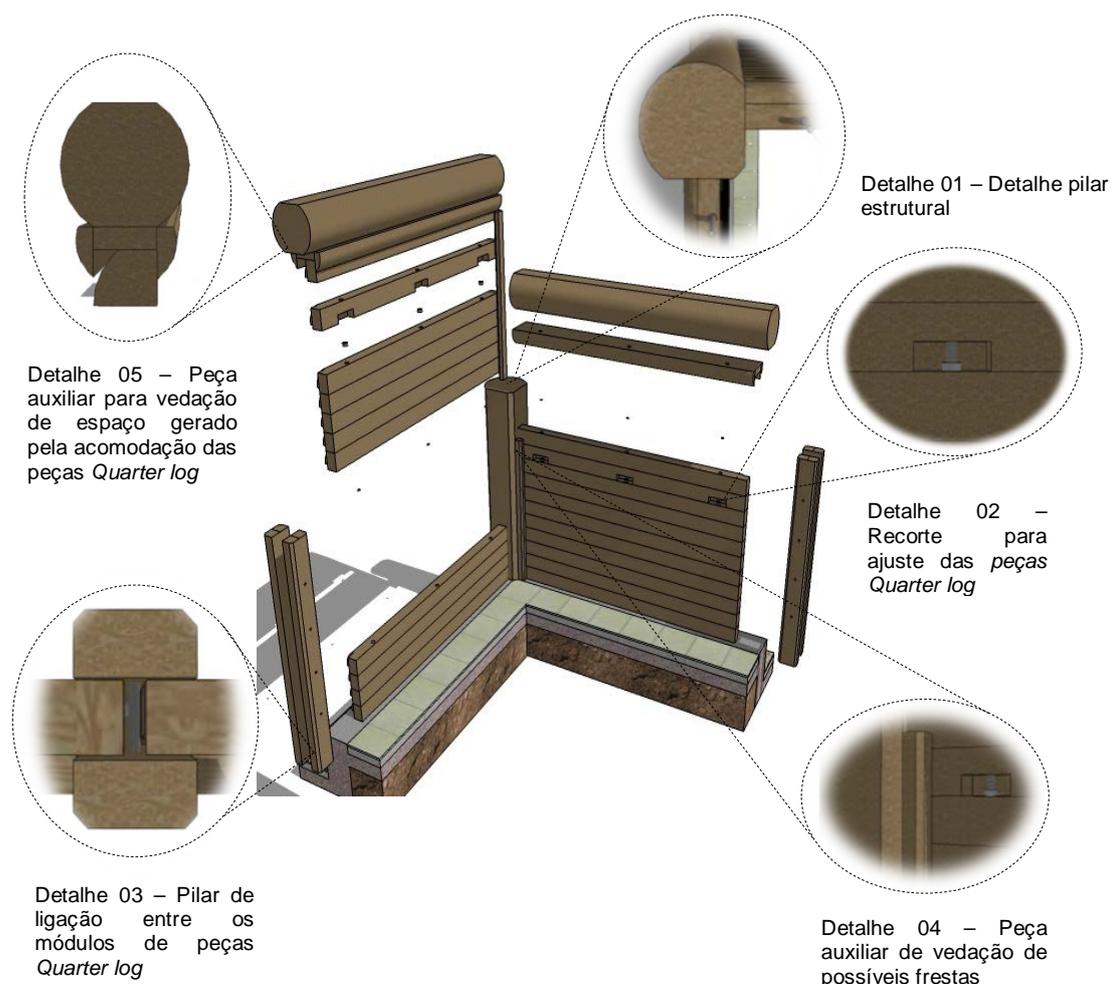


Fonte: a autora.

Em relação ao dimensionamento das janelas, propõe-se que a largura seja igual ao comprimento das peças *Quarter Log* (1,40m), para minimizar cortes e desperdício de madeira. A especificação da largura das portas deve seguir o critério de utilização dos usuários e sugere-se que o dimensionamento dos ambientes seja projetado a partir dessas medidas e evite o desperdício de madeira.

A seguir apresenta-se uma perspectiva que ilustra uma vista interna de parte do subsistema proposto, assim como, o detalhamento de cada ligação descrita anteriormente (Figura 82).

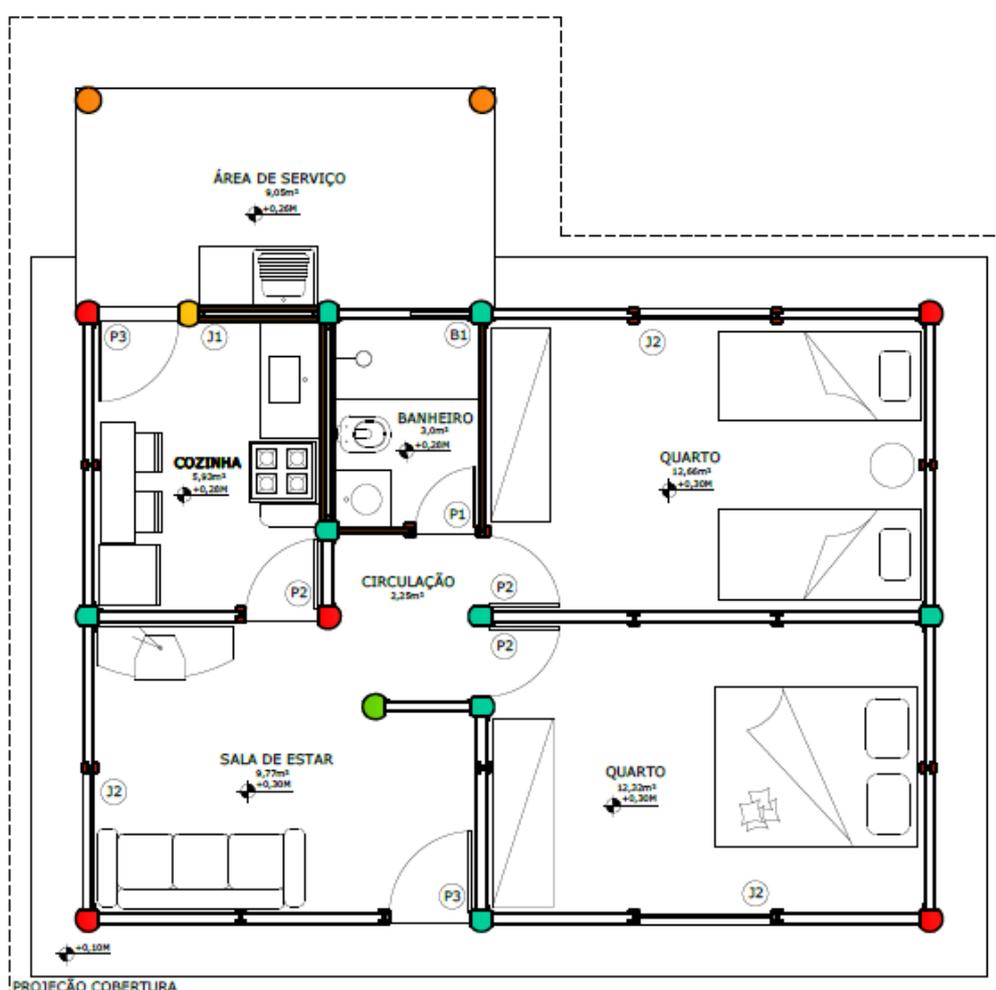
Figura 82 - Representação de montagem do subsistema *Quarter Log* a partir da independência entre vedação e estrutura



Fonte: a autora.

Objetivando aplicar a utilização do módulo para vedação vertical - *Quarter Log* -, e estudar necessidades de detalhes projetuais passíveis de surgimento ao projetar uma edificação, usou-se como exemplo o projeto padrão de uma moradia popular com área aproximada de 52m² (Figura 83). Para utilizar a madeira como principal material de construção e, especificamente, para empregar o produto proposto, foi necessário aperfeiçoar e adaptar o projeto original, utilizando para vedação e estrutura, a quantidade 410m de madeira.

Figura 83 – Planta baixa da residência unifamiliar projetada



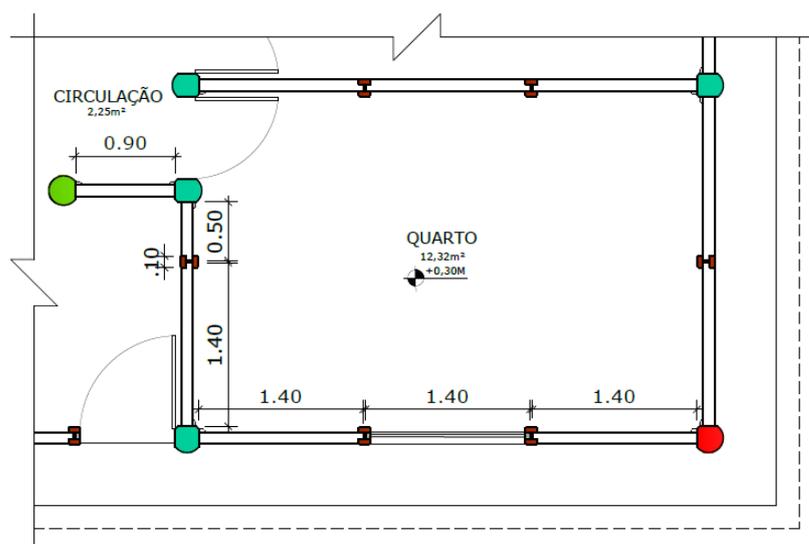
Identificação das peças de madeira que diferem do formato *Quarter log*

COR	DESCRIÇÃO
Amarelo	Pilar roliço
Verde	Roliço 1 face
Laranja	Roliço 2 faces paralelas
Vermelho	Roliço 2 faces perpendiculares
Ciano	Roliço 3 faces
Marrom	Pilaretes para junção dos módulos
Castanho	Parede com madeira serrada

Fonte: a autora.

Dentre os itens adaptados, o dimensionamento dos ambientes é o de maior destaque, visto que foram propostas alterações para que os módulos formados pelas peças *Quarter Log* pudessem ser empregados visando minimizar a geração de resíduos. A Figura 84 apresenta a disposição dos módulos para a delimitação de um dos dormitórios que compõem a edificação.

Figura 84 - Planta baixa esquemática de um dormitório com a identificação do posicionamento dos painéis em *Quarter Log*



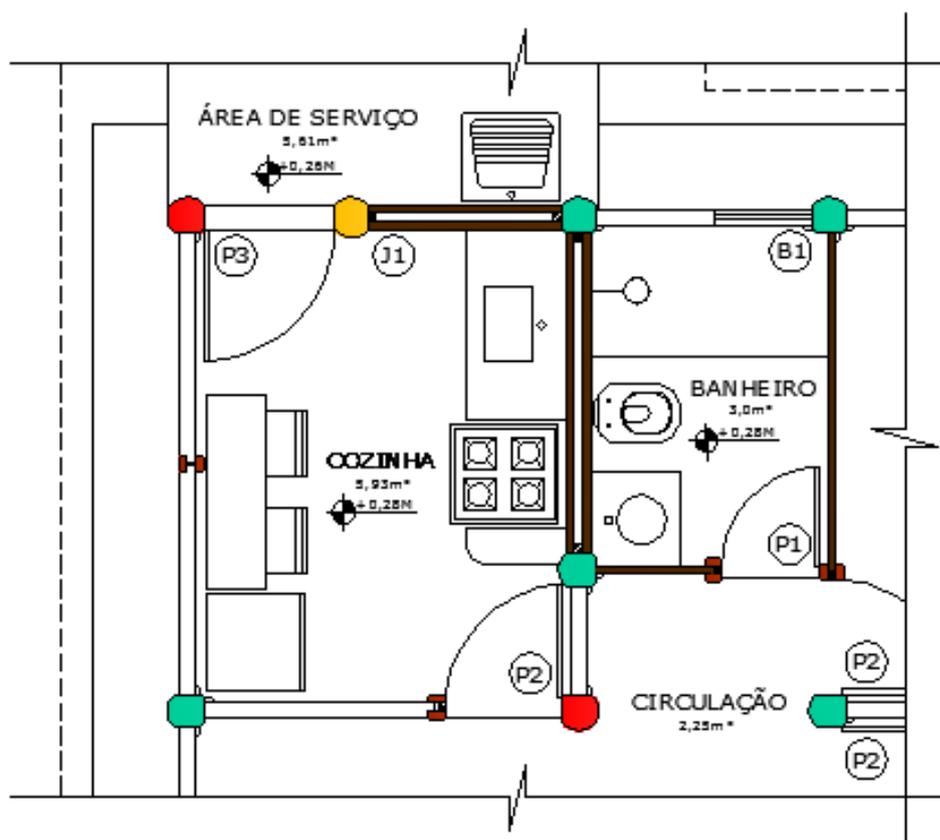
Fonte: a autora.

É possível perceber que a planta baixa definida permitiu o emprego dos módulos por inteiro em três paredes e que foi necessária a realização de recorte, em um dos módulos, na parede de inserção da porta. É importante citar a necessidade de planejamento nesse sentido, observando, por exemplo, que as peças restantes do módulo recortado podem ser utilizadas na divisória entre a sala e a circulação.

Além da redução de resíduos, o projeto da edificação buscou viabilizar a utilização da madeira em locais úmidos, como o banheiro e a cozinha. De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada, os principais autores sugerem que a madeira não seja empregada nos ambientes citados, considerando que o excesso de umidade pode contribuir para a redução da vida útil da madeira. Ressalta-se, no entanto, que a deterioração do material pode ser evitada ao utilizar produtos complementares que contribuem positivamente com a sua preservação.

Considerando o acima exposto, optou-se por manter a madeira como matéria prima básica mesmo nos ambientes úmidos, porém, com a adoção de peças de madeira serrada, visando evitar o excesso de saliências, visto as mesmas contribuírem para o acúmulo de umidade e, conseqüentemente, fungos e mofos. Assim, para que o uso do sistema proposto seja viável nesses ambientes, manteve-se a estrutura projetual sugerida – dentre elas, a independência entre o módulo para vedação e a estrutura e o ajuste das barras rosqueadas – e optou-se em utilizar as peças com o formato retangular, visando facilitar a aplicação dos produtos adicionais e a instalação dos equipamentos hidrossanitários (Figura 85).

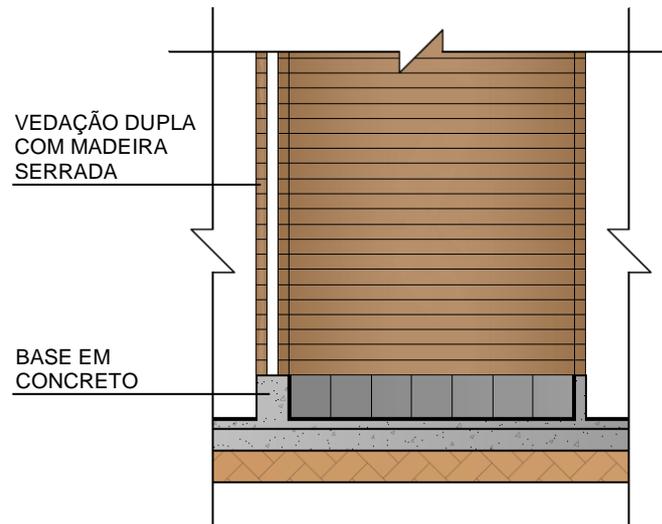
Figura 85 - Planta baixa demonstrando, em marrom, as peças de madeira serrada para a vedação do banheiro e da cozinha



Fonte: a autora.

Com o objetivo de facilitar a instalação dos equipamentos hidrossanitários, as paredes hidráulicas foram projetadas para serem duplas e com um vazio entre elas para abrigar as tubulações. Além disso, aconselha-se que essas vedações estejam afastadas do piso em aproximadamente 0,20m e que esse espaço seja utilizado para a aplicação de cerâmica, para proteger as peças de madeira, as quais devem receber como proteção a pintura com tinta óleo (Figura 86).

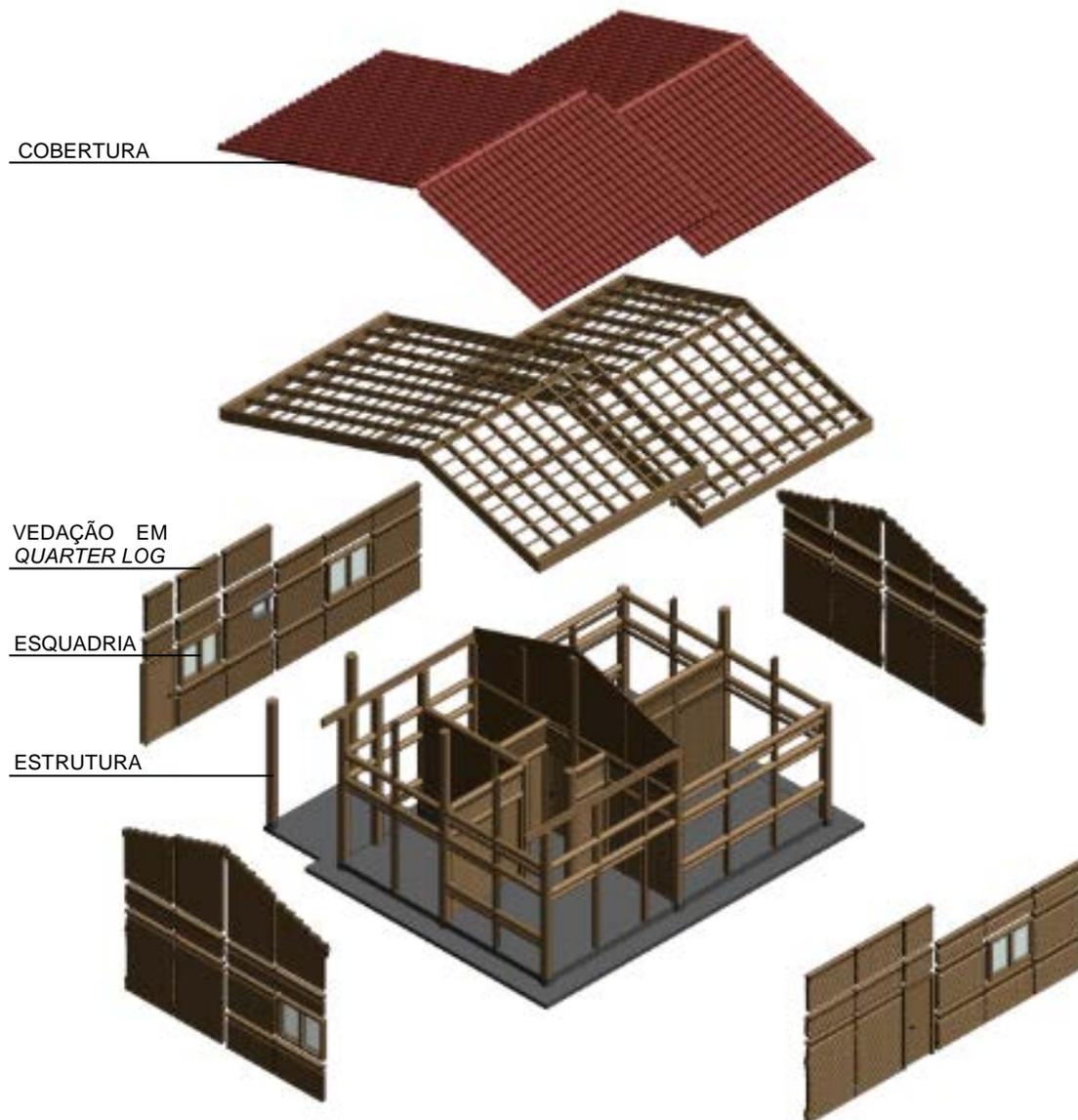
Figura 86 - Corte esquemático da instalação das vedações em madeira do banheiro



Fonte: a autora.

Em relação às vedações internas dos outros ambientes, o projeto foi desenvolvido considerando a utilização das peças em *Quarter Log*, contudo, caso o formato seja indesejado pelo usuário, em função da textura de saliências e reentrâncias em um dos lados, é possível empregar peças serradas, como adotado para o banheiro. O projeto básico da edificação encontra-se no Apêndice B. As Figuras 87 e 88 apresentam a perspectiva do projeto visando facilitar o entendimento das partes que compõem a edificação.

Figura 87 - Demonstração de montagem da edificação modelo estruturada através de sistema viga/pilar e sistema de vedação em Quarter Log



Fonte: a autora.

Figura 88 - Imagens externas - frontal e fundos - da edificação modelo de habitação rural para avaliação de viabilidade projetual do sistema *Quarter Log*



Fonte: a autora.

Considerando a facilidade de execução e o efeito arquitetônico adequado, recomenda-se utilizar toras com diâmetros aproximados de 0,20m e que possuam pequena variação de conicidade, visando evitar perdas na retirada das costaneiras e propiciar uniformidade no encontro das peças. Buscando auxiliar na proteção das peças que compõem a vedação externa da habitação, sugere-se ainda que o beiral seja estudado e projetado conforme a incidência do sol na

fachada e, quando não for possível essa análise, que possua, no mínimo, 0,80m de afastamento em relação à parede.

O Apêndice C apresenta dois exemplos adicionais de edificação com a utilização do módulo *Quarter Log*, realizado com o intuito de avaliar a flexibilidade do sistema proposto. Os exemplos A e B referem-se às habitações com 52m² e 100 m², respectivamente e validam o potencial de uso do módulo de vedação vertical com as características e dimensionamento conforme proposto. Cabe ressaltar que o uso da tecnologia BIM (*Building Information Model*) para o desenvolvimento projetual com o módulo *Quarter Log*, pode facilitar a aplicação do sistema no projeto arquitetônico, considerando especialmente sua característica modular e a maior facilidade de controle das interfaces em relação aos demais projetos complementares, desejáveis para a efetiva eficiência do sistema.

4.3. O Custo de Execução

Considerando que a exequibilidade de um sistema deve envolver, necessariamente, os custos, foram levantados os valores referentes aos materiais necessários para a execução de uma edificação unifamiliar, com área aproximada de 52m², conforme anteriormente demonstrado na Figura 83. O levantamento realizado apresenta um parâmetro de comparação entre o sistema construtivo proposto *Quarter Log* e o sistema convencional de toras empilhadas, denominado *Log home*.

A Tabela 4 apresenta a composição geral de custos relacionados às etapas construtivas que compõem a edificação – fundação, cobertura, esquadrias, instalações hidrossanitárias e elétricas –, independente do sistema de vedação e estrutura utilizado. Para a sua composição, utilizou-se como base a tabela de custos referenciais, disponibilizada pelo Instituto de Obras Públicas do Estado do Espírito Santo (IOPES), em dezembro de 2013 (IOPES, acesso em 20 nov. 2013).

Tabela 4 - Custo para a execução das etapas construtivas que compõem a edificação do projeto modelo de habitação, exceto vedação e estrutura

ITEM	VALOR (R\$)
Movimentação de terra	2.363,39
Infraestrutura (fundação)	4.132,61
Cobertura	19.217,03
Esquadrias	5.290,85
Instalações hidrossanitárias	13.310,28
Instalações elétricas	11.076,80
Total	55.390,96

Fonte: a autora, elaborado a partir de IOPES (acesso em 20 nov. 2013).

Os custos relacionados à execução das vedações e das estruturas (pilares e vigas), referente aos sistemas citados, são apresentados de maneira independente nas Tabelas 5 e 6. Para elaborar a Tabela 5 – *Quarter Log*, foram considerados os valores obtidos no comércio local e, para a Tabela 6 – *Log home*, os dados fornecidos pela empresa Estrutura Soluções em Estruturas de Madeira, localizada próxima ao município de Jaguaré, a qual trabalha em parceria com o Grupo Plantar – Amaru, especializada no sistema convencional.

Tabela 5 - Custo de materiais para a execução de vedação e estrutura, *Quarter Log*

Item	Und	Quant.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Madeira tratada	m	410	11,40	4.674,00
Barra rosqueada, 1m - Ø 15,87mm	und	198	15,00	2.970,00
Conector - Ø 15,87mm	und	105	4,80	504,00
Porca - Ø 15,87mm	und	544	1,00	544,00
Arruela - Ø 15,87mm	und	544	0,45	244,80
Prego – 25x72	Kg	5	10,00	50,00
Total				8.986,00

Fonte: a autora.

Tabela 6 - Custo de materiais para a execução de vedação e estrutura, *Log home*

Item	Und	Quant.	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$)
Madeira	m	1.350	18,52	25.000,00
Barra rosqueada, 3m – Ø 12,70mm	und	26	37,00	962,00
Barra rosqueada, 1m - Ø 12,70mm	und	30	10,00	300,00
Porca - Ø 12,70mm	und	160	0,50	80,00
Arruela - Ø 12,70mm	und	160	0,30	48,00
Prego – 25x72	Kg	10	10,00	100,00
Total				26.490,00

Fonte: a autora.

De acordo com os dados levantados, observa-se que o valor final da edificação com o sistema *Quarter Log* é de R\$ 64.376,96 (em dólares - US 29.037,87), enquanto com o sistema *Log home* é de R\$ 81.880,96 (em dólares - US 36.933,23), sendo o custo do sistema *Log home* 21,38% superior em relação ao *Quarter Log*. Essa diferença é justificada, principalmente, pela quantidade de madeira empregada no sistema proposto ser significativamente menor (940m de diferença), quando comparada ao sistema *Log home*; por ser adquirida diretamente com o produtor rural (R\$ 5,00/m) e por receber o tratamento preservativo em uma empresa especializada localizada na região (R\$ 6,40/m).

O responsável pela Estrutora Soluções em Estruturas de Madeira ressaltou a necessidade de mão de obra especializada para a fabricação e montagem do sistema *Log home*, assim como de maquinário específico, principalmente para preparar os encaixes utilizados. Além disso, destacou que se responsabiliza pela execução apenas das partes que empregam a madeira – estrutura, vedação e cobertura –, sendo responsabilidade do cliente a realização das demais etapas, assim como o fornecimento de materiais complementares, como as ferragens e o verniz. Cabe ressaltar que a empresa utiliza a espécie de eucalipto Amaru, cultivada no Estado de Minas Gerais.

Buscando facilitar o entendimento sobre a viabilidade de custo do sistema proposto, a Tabela 7 apresenta o custo por m² do sistema *Quarter Log*, do sistema *Log home*, assim como, para uma edificação executada no sistema

convencional em alvenaria, no Espírito Santo. O valor apresentado para o sistema em alvenaria, no Espírito Santo, corresponde a uma edificação de baixo custo e padrão normal, sendo adotados os dados disponibilizados pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil do Espírito Santo (SINDUSCON-ES, acesso em 27 jul. 2014).

Tabela 7 – Custo para execução da edificação com os sistemas: *Quarter Log*, *Log home* e alvenaria convencional

Sistema construtivo	Custo/m ²		Custo total	
	Real (R\$)	Peso Chileno (Ch\$)	Real (R\$)	Peso Chileno (Ch\$)
<i>Quarter Log</i>	1.238,00	282.150,53	64.376,96	14.650.763,96
<i>Log home</i>	1.574,64	358.900,94	81.880,96	18.634.284,96
Alvenaria (Espírito Santo/Brasil)	1.404,76	320.156,53	73.047,52	16.623.990,53

Fonte: a autora, a partir de SINDUSCON-ES (acesso em 23 jul 2014).

O custo apresentado para o sistema *Quarter Log* e para o sistema *Log home* é composto somente pelo valor do material utilizado, visto que, o objetivo é apresentar um comparativo entre sistemas semelhantes, sendo perceptível a redução de preço pelo sistema proposto devido a utilização de menor quantidade de madeira e a facilidade de execução. Considerando a impossibilidade de comparação quantitativa entre materiais diferentes (madeira e alvenaria) e a possibilidade de execução do sistema *Quarter Log* pelo próprio usuário, entende-se que o custo com a mão de obra seja o item de diferenciação entre os mesmos e que justifique a redução de custo pelo sistema proposto.

4.4. Avaliação do módulo *Quarter Log* em relação às diretrizes projetuais estabelecidas

Baseado nos critérios projetuais definidos anteriormente e conforme procedimento descrito na Seção 3 realizou-se uma avaliação do sistema *Quarter Log* especificamente em relação ao projeto. O objetivo foi analisar o nível de atendimento do sistema em relação aos aspectos definidos previamente como diretrizes projetuais, seja em relação ao material madeira, à desejável facilidade de execução, bem como ao atendimento aos critérios de desempenho. Os

Quadros 6, 7 e 8 apresentam a síntese dos roteiros de avaliação desenvolvidos e a análise realizada.

QUADRO 6 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO PROJETO EM RELAÇÃO ÀS ESPECIFICIDADES DA MADEIRA

Durabilidade da madeira	Especificidades do material madeira		Observações/características projetuais
	Atendimento		
	Sim	Não	
Solução para possíveis frestas	X		<ul style="list-style-type: none"> • Possibilidade de ajuste das peças <i>Quarter Log</i>, através da utilização de barras rosqueadas e porcas, devido a variação dimensional.
Proteção das peças de madeira em relação ao acúmulo de água	X		<ul style="list-style-type: none"> • Afastamento entre as peças de madeira e o piso, através da cinta de baldrame impermeabilizada, impedindo a umidade ascendente; • Dimensionamento de beiral com medida suficiente para proteger as peças de madeira; e • O formato das peças <i>Quarter Log</i> simulam a função de pingadeiras e, conseqüentemente, facilitam o escoamento da água.

Fonte: a autora.

Conforme descrito na Seção 4.2.3, o detalhamento projetual sugere que as peças de madeira estejam apoiadas em uma cinta baldrame impermeabilizada, com aproximadamente 0,20m de altura, evitando assim a umidade ascendente e a conseqüente redução da vida útil da primeira fiada de peças de madeira. Para os pilares de varanda ou área de serviço, o projeto recomenda a execução de uma base em concreto, simulando a atuação da viga baldrame, também para evitar o contato direto da madeira com o solo.

Além da proteção em relação ao contato com a umidade através do piso, o projeto também aconselha que o beiral seja dimensionado conforme as características do local de inserção da obra, de maneira que as peças de madeira estejam abrigadas das águas de chuva. Caso o estudo para especificar a medida do beiral não seja possível, sugere-se como medida mínima 0,80m. Cabe ressaltar que o beiral tem como função contribuir com a durabilidade das peças de madeira tanto em relação à água de chuva, quanto aos danos causados pelo sol.

A proteção da madeira em relação à umidade também é favorecida, no sistema proposto, pelo formato das peças que o compõem. O fato das toras serem

divididas em quatro partes iguais contribui para que as peças conformem pingadeiras naturais, e evitem o acúmulo de água entre as mesmas. Contudo, recomenda-se a execução de pingadeiras convencionais, buscando evitar qualquer possibilidade de acúmulo da água entre as peças de madeira.

A seguir são apresentados os resultados alcançados em relação à facilidade de execução do sistema, diante dos detalhes projetuais propostos (Quadro 7).

QUADRO 7 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO PROJETO EM RELAÇÃO À FACILIDADE DE EXECUÇÃO DO SISTEMA

Aspectos qualificadores do sistema proposto	Facilidade de execução do sistema proposto		Observações/características projetuais
	Atendimento		
	Sim	Não	
Adoção de toras com seções usuais e de fácil aquisição	X		O sistema é projetado de acordo com a dimensão das peças disponíveis na região, com aproximadamente 0,20m de diâmetro e 3m de comprimento.
Reduzida alteração da forma original das peças de madeira	X		A mínima interferência no formato natural das peças, facilita a utilização em regiões caracterizadas pelo restrito acesso à ferramentas e mãos de obra. O ferramental necessário para execução do sistema é: plaina desempenadeira para o desbaste lateral; serra circular e serra fita para o desdobro; máquina destopadeira para o destopo das peças; desengrossadeira e esquadrejadeira para adequar o encontro das peças; tupia para a execução da pingadeira; e máquina furadeira para a instalação das barras rosqueadas.
Reduzida tecnologia para a preparação das peças de madeira	X		

Fonte: a autora.

O formato das peças que compõem o sistema foi projetado de maneira que facilite a execução do mesmo, através da utilização das ferramentas, mão de obra e dimensão de madeira disponíveis na região de estudo. Considerando que na região são encontradas toras de madeira com aproximadamente 0,20m de diâmetro e 3m de comprimento e que é necessária a realização do destopo, para garantir a uniformidade dimensional dos componentes, o projeto sugere que as peças *Quarter Log* sejam preparadas com a medida final de 1,40m. Essa dimensão justifica-se por contribuir com a redução de resíduos e, conseqüentemente, o desperdício de madeira.

Em relação à reduzida interferência no formato original das toras, o sistema permite a utilização das ferramentas disponível na região bem como mão de obra

não especializada. Como citado anteriormente, o desenvolvimento do sistema proposto conciliou às diretrizes definidas em relação às especificidades do material madeira, facilidade de execução e atendimento às exigências de desempenho, definidas pela norma vigente. O Quadro 8 apresenta os resultados alcançados em relação às exigências de desempenho estabelecidas pela NBR 15.575:2013 e passíveis de avaliação enquanto projeto.

QUADRO 8 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DO PROJETO EM RELAÇÃO ÀS EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO

Desempenho do sistema proposto			
Exigências definidas pela NBR 15.575:2013	Atendimento		Observações/características projetuais
	Sim	Não	
Segurança no uso e na operação	X		<ul style="list-style-type: none"> • Não há indícios de prováveis elementos cortantes ou perfurantes que possam causar danos aos usuários
Estanqueidade	X		<ul style="list-style-type: none"> • A junção das peças através do corte formado pelas retiradas das costaneiras associado à pressão exercida pela barra rosqueada possibilitam a estanqueidade do conjunto; • O formato das peças <i>Quarter Log</i> facilitam o escoamento da água, conformando pingadeiras; e • Internamente a vedação resulta em uma superfície lisa, facilitando o processo de manutenção e higienização da habitação.
Durabilidade	X		

Fonte: a autora.

A utilização de ferramentas que proporcionam o acabamento das peças *Quarter Log*, como a desengrossadeira, elimina a presença de elementos cortantes ou perfurantes que comprometam à segurança do sistema em relação ao uso e à operação, assim como o conforto tátil do mesmo. As exigências relacionadas à estanqueidade e à durabilidade são atendidas através do formato das peças *Quarter Log* associado à utilização de pingadeiras.

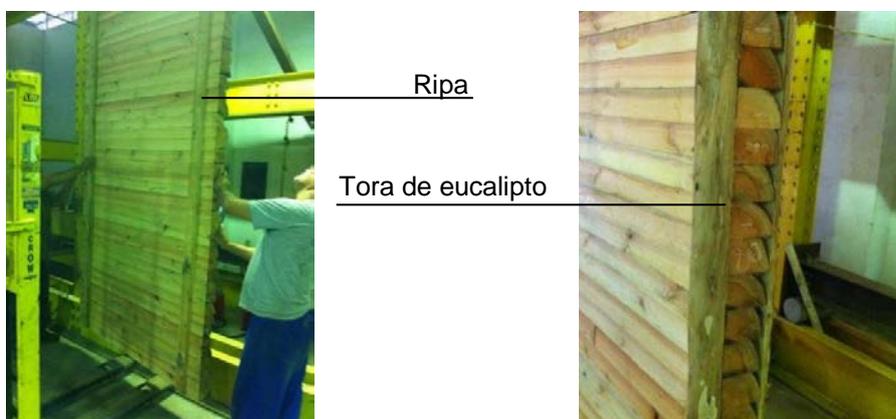
Sendo assim, diante dos resultados obtidos é possível afirmar que o sistema proposto atende às diretrizes especificadas, de acordo com a revisão de literatura e com os critérios anteriormente estabelecidos.

4.5. Avaliação do módulo *Quarter Log* em relação à segurança estrutural

Para realizar a avaliação de segurança estrutural, os protótipos P3 e P4 foram submetidos aos ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro, e de resistência à compressão axial simples. Como descrito anteriormente, os protótipos foram transportados do local de execução (Jaguaré/ES) para o Laboratório de Estruturas da Ufes (Vitória/ES), por aproximadamente 200 quilômetros, e para evitar possíveis danos foram fixadas duas peças serradas na face lisa de cada protótipo.

Considerando que esses elementos são adicionais e não compõem o sistema proposto, ponderou-se como necessária a remoção dos mesmos. Contudo, verificou-se uma deformação dos protótipos após a retirada das peças citadas. Buscando solucionar o problema sem interferir na atuação real do sistema, optou-se por instalar toras de eucalipto, com aproximadamente 0,10m de diâmetro nas extremidades dos protótipos, simulando a fixação dos pilares ou montantes em condições reais de uso. Não foram realizados os recortes para encaixe dos pilares nas peças *Quarter Log*, conforme especificado em projeto, por ter sido avaliado que tais detalhamentos não interferem no resultado dos ensaios (Figura 90).

Figura 89 - À esquerda, protótipo com uso de ripas nas laterais e à direita, o mesmo protótipo tendo sido substituídas as ripas por tora de pequeno diâmetro



Fonte: a autora.

4.5.1. Ensaios de Impacto de Corpo Mole e Corpo Duro

Os experimentos relacionados aos ensaios de corpo mole e corpo duro buscam a identificação de deslocamentos, deformação ou rupturas da vedação vertical, através da simulação de choques, acidentais ou não, ocorridos durante o uso da edificação (ASSOCIAÇÃO,...2013). A Tabela 8 apresenta os resultados do ensaio de corpo mole adquiridos nos protótipos testados, sendo d_h o deslocamento horizontal e, d_{hr} o deslocamento horizontal residual.

Tabela 8 - Valores registrados no ensaio de corpo mole, conforme a altura estabelecida pela norma

Impacto de corpo mole									
m (Kg)	h (m)	E (J)	P 3		P 4		Média		Observações
			d_h (mm)	d_{hr} (mm)	d_h (mm)	d_{hr} (mm)	d_h (mm)	d_{hr} (mm)	
40	0,15	60	2,38	0,01	2,41	0,16	2,40	0,09	Não ocorrência de falhas
40	0,30	120	2,98	0,27	3,19	0,30	3,09	0,29	
40	0,45	180	6,24	0,45	4,98	0,34	5,61	0,40	
40	0,60	240	14,58	1,81	9,38	0,37	11,98	1,09	
40	0,90	360	27,00*	4,96	27,00*	0,61	27,26*	2,80	

*Esses valores são considerados aproximados, visto que a deformação alcançou o curso máximo do defletômetro (27,00 mm).

Fonte: a autora.

A Tabela 9 apresenta os resultados das profundidades das mossas e o dano causado em cada impacto do ensaio de corpo duro.

Tabela 9 - resultado das mossas geradas no ensaio de corpo duro

Impacto de corpo duro							Observações
m (Kg)	h (m)	E (J)	Impacto	Profundidade (mm)			
				P3	P4	Média	
0,5	0,5	2,5	1	0,15	0,37	0,26	Não ocorrência de falhas
0,5	0,5	2,5	2	0,16	0,22	0,19	
0,5	0,5	2,5	3	0,25	0,4	0,33	
0,5	0,5	2,5	4	0,14	0,46	0,30	
0,5	0,5	2,5	5	0,11	0,41	0,26	
0,5	0,5	2,5	6	0,31	0,42	0,37	
0,5	0,5	2,5	7	0,34	0,45	0,40	
0,5	0,5	2,5	8	0,55	0,55	0,55	
0,5	0,5	2,5	9	0,58	0,59	0,59	
0,5	0,5	2,5	10	0,28	0,38	0,33	
0,5	0,5	3,75	1	0,55	0,42	0,49	Não ocorrência de falhas
0,5	0,5	3,75	2	0,30	0,37	0,34	
0,5	0,5	3,75	3	0,60	0,32	0,46	
0,5	0,5	3,75	4	0,26	0,43	0,35	
0,5	0,5	3,75	5	0,31	0,68	0,50	
0,5	0,5	3,75	6	0,46	0,64	0,55	
0,5	0,5	3,75	7	0,47	0,35	0,41	
0,5	0,5	3,75	8	0,50	0,66	0,58	
0,5	0,5	3,75	9	0,41	0,65	0,53	
0,5	0,5	3,75	10	0,25	0,51	0,38	
0,5	0,5	5,0	1	0,73	0,56	0,65	Não ocorrência de falhas
0,5	0,5	5,0	2	1,17	0,37	0,77	
0,5	0,5	5,0	3	0,88	0,30	0,59	
0,5	0,5	5,0	4	0,47	0,49	0,48	
0,5	0,5	5,0	5	0,62	0,63	0,63	
0,5	0,5	5,0	6	0,40	0,51	0,46	
0,5	0,5	5,0	7	0,41	0,62	0,51	
0,5	0,5	5,0	8	0,67	0,79	0,73	
0,5	0,5	5,0	9	0,38	0,68	0,53	
0,5	0,5	5,0	10	0,35	0,77	0,56	
1,0	0,5	10	1	0,66	0,47	0,57	Não ocorrência de falhas
1,0	0,5	10	2	0,58	0,42	0,50	
1,0	0,5	10	3	0,48	0,51	0,50	
1,0	0,5	10	4	0,46	0,50	0,48	
1,0	0,5	10	5	0,89	0,40	0,65	
1,0	0,5	10	6	0,73	0,40	0,57	
1,0	0,5	10	7	0,44	0,55	0,50	
1,0	0,5	10	8	0,59	0,61	0,60	
1,0	0,5	10	9	0,67	0,82	0,75	
1,0	0,5	10	10	0,41	0,62	0,52	
1,0	0,5	20	1	0,49	0,46	0,48	Não ocorrência de falhas
1,0	0,5	20	2	0,74	0,42	0,58	
1,0	0,5	20	3	0,78	0,68	0,73	
1,0	0,5	20	4	0,75	0,56	0,66	
1,0	0,5	20	5	0,63	0,45	0,54	
1,0	0,5	20	6	0,93	0,42	0,68	
1,0	0,5	20	7	0,54	0,46	0,50	
1,0	0,5	20	8	0,50	0,59	0,55	
1,0	0,5	20	9	0,61	0,50	0,56	
1,0	0,5	20	10	0,87	0,63	0,75	

Fonte: a autora.

Após a realização dos ensaios, observou-se que nenhum dos protótipos apresentou qualquer tipo de frestas, desintegração e rompimento de seus elementos, sendo o evento de maior gravidade a ocorrência das mossas nos locais de impacto das esferas de aço.

4.5.2. Ensaio de Resistência à Compressão Axial Simples

O ensaio de resistência à compressão axial simples foi realizado conforme a NBR 8949: 1985 e tem como objetivo analisar a deformação sofrida pelo protótipo, conforme a carga aplicada. A Tabela 10 apresenta as medidas dos encurtamentos para cada aplicação de carga, assim como a média dos mesmos, para os dois protótipos ensaiados.

Tabela 10 - Resultado do ensaio de compressão conforme a carga aplicada

Ensaio de Compressão simples						
Força aplicada (tonelada)	P3			P4		
	Encurtamento (mm)			Encurtamento (mm)		
	1	2	Média	1	2	Média
1	0,0	0,26	0,28	0,0	0,05	0,025
2	0,0	0,88	0,88	0,71	0,0	0,71
3	0,0	3,60	3,60	1,02	0,0	1,02
4	0,0	6,15	6,15	0,0	0,76	0,76
5	0,0	10,05	10,05	0,0	0,64	0,64
6	0,0	16,35	16,35	0,87	0,0	0,87
7	0,0	18,5	18,5	2,91	0,0	2,91
8	-	-	-	6,08	0,0	6,08
9	-	-	-	11,65	0,0	11,65
10	-	-	-	27,24	0,0	27,24

Fonte: a autora.

Ao analisar os dados registrados na Tabela 10 é possível constatar que:

- P3: apresentou maior encurtamento durante a aplicação das primeiras cargas e interrompeu a deformação a partir do carregamento de sete toneladas; e
- P4: manteve-se em equilíbrio durante a aplicação das primeiras cargas, desenvolvendo a flecha efetivamente a partir do carregamento de seis toneladas.

Ao correlacionar os dados da Tabela 10 e as Figuras 90 e 91 é possível perceber que a flecha do P3 formou-se durante todo o carregamento em direção ao

defletômetro 2, ocasionando assim o encurtamento em forma de “C”. A curvatura do P4 alternou-se em direção aos dois defletômetros, deformando-se em forma de “S”. O fato justifica-se devido ao formato das peças *Quarter Log* e a não uniformidade da superfície de contato entre as mesmas.

Figura 90 - Aplicação de carga no protótipo 3



Fonte: a autora.

Figura 91 - Aplicação de carga no protótipo 4

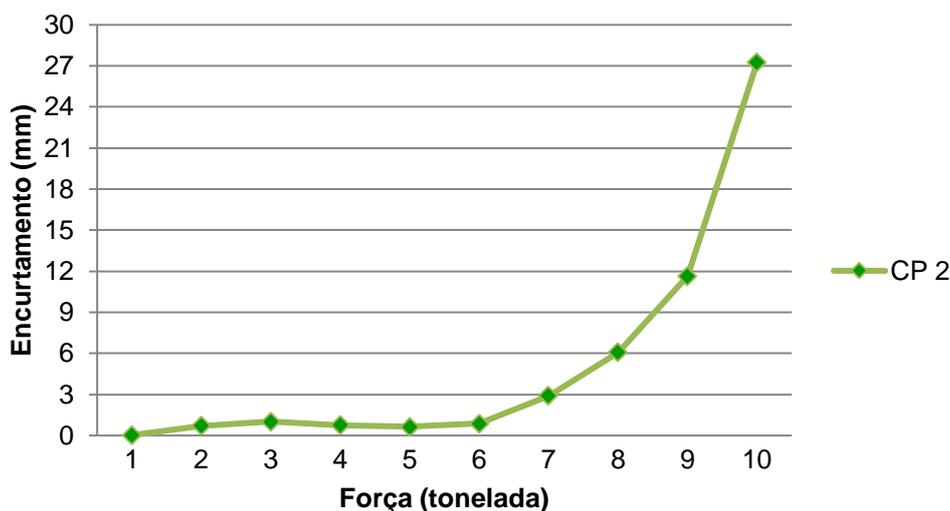


Fonte: a autora.

Considerando que o P3 já havia sido testado várias vezes, e que o seu ensaio de compressão foi utilizado como base para a realização adequada do carregamento no

P4, os dados relativos ao seu comportamento não foram utilizados como referência para a medição de desempenho do sistema proposto. Sendo assim, o Gráfico 1 apresenta a relação entre a força e o carregamento de P4.

GRÁFICO 1 - ENCURTAMENTO GERADO NO PROTÓTIPO 4



Fonte: a autora.

Apesar do P4 não perder a estabilidade com a carga de 10 toneladas, optou-se por interromper o ensaio por uma questão de segurança dos operadores do maquinário. Após a retirada das cargas pode-se perceber que os protótipos sofreram uma deformação elástica, ou seja, eles suportaram a flambagem e retornaram a forma original sem qualquer tipo de dano para a peça. Uma vantagem que se pode perceber com relação aos sistemas tradicionais de vedação - como tijolos, blocos, ou concreto - é que o protótipo *Quarter Log* atingiu a perda de estabilidade sem se desintegrar ou entrar em colapso.

Grande (2003) cita que ao ensaiar paredes executadas com tijolos de solo-cimento, essas apresentaram modo de ruptura frágil e pouca deformabilidade, quando comprimidas. Cyrino (2012) realizou o ensaio de compressão simples em paredes de alvenaria sem reboco, e as mesmas romperam com a carga de 6,49 toneladas, ou seja, um valor próximo ao resistido por P4, que iniciou a deformação com seis toneladas.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerando que a avaliação de desempenho do sistema *Quarter Log* foi efetuado de acordo com os aspectos relacionados ao projeto e ao comportamento físico mecânico, as considerações sobre os resultados também foram organizados de forma independente, conforme a seguir detalhado.

5.1. Análise Projetual

Os resultados obtidos na etapa de avaliação do projeto em relação às diretrizes pré-definidas permitem afirmar que o sistema atende aos critérios identificados na revisão bibliográfica. Em relação à facilidade de execução, o projeto considera peças de madeira com diâmetros comercializados na região de estudo, fato que facilita a obtenção das toras para a execução da habitação. Observa-se ainda que o formato projetado para as peças de vedação *Quarter Log*, assim como para pilares e vigas, interfere minimamente na forma original da tora, mitigando a geração de resíduos, possibilitando a utilização das ferramentas disponíveis na região e também a execução pelos próprios moradores. Dentre os aspectos relacionados à facilidade de execução também foi considerado o dimensionamento das peças, sendo estabelecida a modulação de acordo com a carroceria do caminhão transportador, sendo que o peso individual das peças permite a condução por uma pessoa, no local da obra. Os dados apresentados foram confirmados durante a execução dos protótipos.

Em relação às especificidades da madeira, observa-se que através da utilização de barras rosqueadas passíveis de ajustes, é possível manter a estabilidade na junção das peças *Quarter Log*, evitando assim o aparecimento de frestas devido à

variação dimensional do material. Além disso, foi possível perceber que devido à espécie de eucalipto utilizada e à dimensão especificada para as peças – 1,40m – não ocorreu o processo de torção das mesmas, conforme considerado na revisão bibliográfica. A comprovação dos resultados apresentados ocorreu através de observação e análise dos protótipos durante 120 dias de armazenamento.

Buscando contribuir com a durabilidade da madeira, sugere-se que as peças sejam afastadas do piso, em aproximadamente 0,20m, através de uma base de concreto e que o beiral da cobertura possua dimensão mínima de 0,80m, para mitigar a ação da chuva e do sol sobre as mesmas.

As exigências de desempenho foram analisadas a partir das definições estipuladas pela NBR 15.575:2013. Nesse sentido, a norma estabelece que a segurança no uso e na operação dos sistemas e componentes deve ser considerada em projeto, principalmente no que diz respeito à presença de materiais que apresentam pontas e bordas cortantes. Através da análise projetual e das etapas de preparação das peças que compõem o sistema foi possível diagnosticar que o módulo para vedação vertical *Quarter Log* não apresenta partes que prejudiquem a utilização do sistema.

Em relação à estanqueidade, a norma vigente descreve que para a avaliação da vedação vertical externa devem ser realizados ensaios em laboratório para verificação de estanqueidade à água da vedação vertical. Enquanto premissas de projeto a norma estabelece que:

O projeto deve indicar os detalhes construtivos para as interfaces e juntas entre componentes, a fim de facilitar o escoamento da água e evitar a sua penetração para o interior da edificação. Esses detalhes devem levar em consideração as solicitações a que os componentes da vedação externa estarão sujeitos durante a vida útil de projeto da edificação habitacional (ASSOCIAÇÃO,...2013).

Através da análise realizada é possível afirmar que o projeto do sistema *Quarter Log* apresenta os detalhes construtivos solicitados pela norma, como o formato das peças em pingadeiras naturais, a inserção de pingadeira em cada peça *Quarter Log* e a interface pilar-vedação, de maneira que impossibilite o aparecimento de frestas. Considerando a inexistência de laboratório específico

para a realização do ensaio de estanqueidade na Universidade Federal do Espírito Santo, instituição parceira nesta pesquisa, a estanqueidade entre as peças *Quarter Log* foi comprovada através do teste de campo realizado para o desenvolvimento do projeto. No entanto, conforme os dados apresentados na Seção 3.3, é necessário realizar uma seleção criteriosa das toras de madeira de maneira que não possuam defeitos como os nós, visto que estes facilitam a penetração da água e, conseqüentemente, falhas na vedação.

Para a avaliação de durabilidade a partir da NBR 15.575:2013 é necessário analisar os seguintes aspectos: ação de calor e choque térmico, vida útil do sistema de vedação e manutenibilidade do sistema de vedação. Em relação à aos critérios citados, não foi possível a realização dos ensaios laboratoriais em função da indisponibilidade de maquinários específicos no âmbito da Universidade Federal do Espírito Santo, onde foram realizados os demais ensaios físico-mecânicos, assim como pela necessidade de avaliação durante a utilização do sistema proposto, o que não condiz com o tempo disponível para a realização da pesquisa.

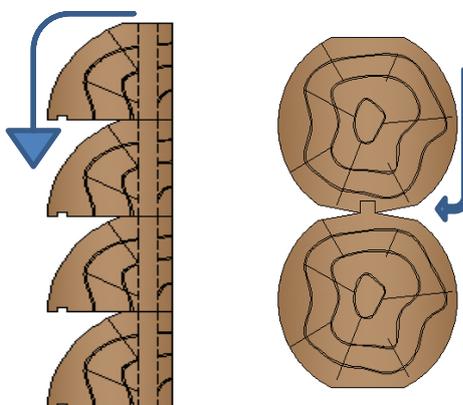
Além das informações relatadas é possível perceber que ao ser comparado ao sistema convencional mais próximo, o *Log home* (tora inteira), o *Quarter Log* apresenta alguns aspectos diferenciais e positivos que podem ser classificados como um avanço em relação ao sistema tradicional, conforme síntese apresentada no Quadro 9.

QUADRO 9 - COMPARATIVO ENTRE O SISTEMA CONSTRUTIVO TRADICIONAL DE LOG HOME E O SISTEMA QUARTER LOG

Característica	Sistema tradicional <i>Log home</i>	Sistema <i>Quarter Log</i>
Estanqueidade	<ul style="list-style-type: none"> • O formato das peças facilita o acúmulo de água entre elas (Figura 92) • A utilização de pingadeira mitiga o ingresso de água na junção das peças <i>Quarter Log</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • As peças em <i>Quarter Log</i> conformam pingadeiras naturais, auxiliando o escoamento da água (Figura 92)
Consumo energético	<ul style="list-style-type: none"> • Peças de madeira produzidas através de sistemas industrializados com maior número de etapas e consumo de tempo no processamento 	<ul style="list-style-type: none"> • Peças de madeira simplificadas com menor número de etapas e tempo reduzido para o processamento das mesmas
Facilidade de produção e montagem	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas e ferramentas industriais • Mão de obra especializada 	<ul style="list-style-type: none"> • Máquinas e ferramentas disponíveis na região • Mão de obra com noções básicas de carpintaria
Custo	<ul style="list-style-type: none"> • Maior volume de madeira na envoltória • Necessidade de mão de obra especializada, maior número de trabalhadores e máquinas específicas • Custo maior de material em 21,38% 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor volume de madeira na envoltória • Mão de obra não especializada, menor número de trabalhadores e ferramentas básicas de marcenaria • Custo menor de material, devido principalmente a quantidade de madeira utilizada e a maneira de obtenção da mesma

Fonte: a autora.

Figura 92 - À esquerda, formação de pingadeiras naturais pelo sistema proposto *Quarter Log* e à direita, possibilidade de acúmulo de água devido ao formato das peças utilizadas no sistema tradicional *Log home*



Fonte: a autora.

Em relação ao custo de execução, de acordo com os dados apresentados na Seção 4.3 é possível perceber que o sistema proposto é economicamente viável para a população da zona rural, quando comparado ao sistema *Log home* e ao sistema convencional em alvenaria. A redução no custo se deve, principalmente, por o sistema proposto poder ser executado pelo próprio usuário, com a espécie de madeira cultivada no local, sendo que o tratamento preservativo pode ser realizado na região, significando uma redução em cerca de 21,38% no custo final.

Observa-se que sistema *Quarter Log* é flexível, permitindo sua adoção em diferentes soluções projetuais e com dimensões modulares diferenciadas, ressaltando-se a necessidade de observação dos cuidados sugeridos na confecção e montagem dos módulos, sendo de fundamental importância que a concepção do projeto básico seja elaborada já considerando o uso dessa técnica.

Diante dos dados apresentados e dos resultados obtidos é possível concluir que o sistema *Quarter Log*, atende às premissas de projeto da pesquisa.

5.2. Análise de Segurança Estrutural

A avaliação de segurança estrutural dos protótipos foi realizada com o objetivo de analisar o nível de conformidade do sistema *Quarter Log* em relação às diretrizes descritas pela NBR 15.575:2013. A norma estabelece que o sistema não deve implicar,

(...) no prejuízo/comprometimento da utilização da obra por fissuração ou deformações excessivas, comprometimento da durabilidade da estrutura ou ocorrência de falhas localizadas que possam prejudicar os níveis de desempenho previstos para a estrutura e os demais elementos e componentes da edificação, incluindo as instalações hidrossanitárias e demais sistemas prediais (CBIC, 2013, p.58).

5.2.1. Ensaio de Corpo Mole e Corpo Duro

Em relação aos impactos progressivos de corpo mole e corpo duro, a norma estabelece que os protótipos não devem:

- a) Ser transpassados, sofrer ruptura ou instabilidade sob a ação de impactos de segurança com energias indicadas (CBIC, 2013, p. 66); e
- b) Apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha que possa comprometer o estado de utilização (impactos de utilização), observando-se ainda os limites de deslocamentos instantâneos e residuais indicados (CBIC, 2013, p. 66).

A Tabela 11 apresenta o comportamento exigido pela norma para vedação externa, em edifícios de vários pavimentos e considerando que o ensaio foi realizado somente com impacto na face interna da mesma:

Tabela 11 - Desempenho sob os impactos de corpo mole de vedações verticais externas sem função estrutural

Impacto	Energia de impacto de corpo mole (J)	Crítérios de desempenho
Impactos na face interna da parede (todos os pavimentos)	360	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de ruptura nem o traspasse da parede pelo corpo percussor de impacto (estado-limite último)
	180	
	120	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço); • Limitação dos deslocamentos horizontais: $dh \leq h/125$; $dhr \leq h/625$

Fonte: elaborado a partir de CBIC (2013).

Quando utilizada como vedação externa em edifícios térreos, a norma cita que pode-se considerar as mesmas diretrizes prescritas para os edifícios com vários pavimentos e que “não há distinção de níveis de desempenho, não devendo ocorrer falhas até o impacto de 120 J e nem ruína no impacto de 360 J” (CBIC, 2013, p.68).

A Tabela 12 apresenta os comportamentos esperados dos protótipos como vedações internas em casas térreas.

Tabela 12 - Desempenho sob os impactos de corpo mole de vedações verticais internas sem função estrutural

Impacto	Energia de impacto de corpo mole (J)	Critérios de desempenho
Vedações sem função estrutural	120	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de ruína (estado-limite último); • São permitidas falhas localizadas
	60	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço); limitação da ocorrência de deslocamento: $dh < h/125$ e $dhr < h/625$

Fonte: elaborado a partir de CBIC (2013).

Além disso, a norma estabelece que “vedações sem função estrutural que não excedam os deslocamentos acima para impactos de 120J e que não rompem com impactos de 180J correspondem ao Nível I. Suportando 240J, correspondem ao desempenho de Nível S” (CBIC, 2013, p. 69). Sendo nível I, equivalente ao intermediário e o nível S, ao superior.

A Tabela 13 apresenta o desempenho requerido para o ensaio de corpo duro, considerando a vedação interna e os impactos gerados na face interna da mesma.

Tabela 13 - Desempenho sob os impactos de corpo duro de vedações verticais internas sem função estrutural

Energia de impacto de corpo duro (J)	Critério de desempenho	Nível de desempenho
2,5	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações, etc.; mossas com qualquer profundidade 	M (mínimo)
10	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de ruína e traspassamento; permitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações 	
2,5	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações, etc.; profundidade da mossa: $p \leq 5\text{mm}$ 	I (intermediário)
10	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de ruína e traspassamento; permitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações 	
2,5	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações, etc.; profundidade da mossa: $p \leq 2\text{mm}$ 	S (superior)
10	<ul style="list-style-type: none"> • Não ocorrência de ruína e traspassamento; permitidas falhas superficiais como mossas, fissuras e desagregações 	

Fonte: elaborado a partir de CBIC (2013).

Ao correlacionar as especificações determinadas pela norma utilizada e os dados coletados após a realização dos ensaios, pode-se concluir:

a) Ensaio de corpo mole em vedação externa - edifícios de vários pavimentos e edifícios térreos:

- Sob impactos de 360 J e 180 J, não foram observados ruptura e o transpasse da parede pelo saco de areia; e
- Considerando o valor de $h = 2600\text{mm}$, os deslocamentos horizontais para a força de 120 J permitidos são: $d_h \leq 20,80\text{mm}$ e $d_{hr} \leq 4,16\text{mm}$. Nesse sentido, os valores obtidos nos protótipos foram: P3, $d_h 2,98\text{mm}$ e $d_{hr} 0,27\text{mm}$; P4, $d_h 3,19\text{mm}$ e $d_{hr} 0,30\text{mm}$. Cabe ressaltar que os protótipos não apresentaram falhas e ruína.

b) Ensaio de corpo mole em vedação interna - edifícios térreos:

- Não se observou falhas e rupturas após o impacto de 120 J;
- Em relação aos deslocamentos originados para a força de 60 J, os protótipos apresentaram: P3, $d_h 2,38\text{mm}$ e $d_{hr} 0,01\text{mm}$; P4, $d_h 2,41\text{mm}$ e $d_{hr} 0,16\text{mm}$.

c) Ensaio de corpo duro em vedação interna - impactos gerados de dentro para fora:

- Não foi observada a ocorrência de fissuras, destacamento, desagregações, ruína e traspassamento. Além disso, as mossas não apresentaram profundidade superior a 2mm, respeitando assim, os limites especificados pela norma.

Considerando a avaliação descrita e que os protótipos suportaram o impacto com a força de 240 J, os mesmos apresentaram desempenho satisfatório para vedações externas e internas, em edifícios térreos e de vários pavimentos, respeitando os limites e características do material e sendo considerado o comportamento dos mesmos como nível superior (S).

5.2.2. Ensaio de Compressão Axial Simples

Conforme citado anteriormente, para a realização do ensaio de resistência à compressão axial simples, foram utilizados os métodos descritos pela NBR

8949:1985, referenciada pela NBR 15.575:2013 como complementar. Nesse sentido, para verificar se o sistema proposto possui desempenho técnico satisfatório, o requisito avaliado na segurança estrutural foi a estabilidade estrutural. De acordo com a NBR 15.575:2013,

Os sistemas de vedação verticais internos e externos, considerando as combinações de cargas passíveis de atuarem, devem atender aos limites de deslocamentos instantâneos (d_h) e residuais (d_{hr}) indicados [...] sem apresentar falhas que caracterizem o estado-limite de serviço (CBIC, 2013, p. 64).

Como dado para análise, a norma estabelece para a vedação vertical sem função estrutural o cálculo a partir das cargas permanentes e das acidentais, sendo que, com a aplicação da carga encontrada o sistema não deve apresentar falhas. No entanto, entende-se a informação como contraditória ao considerar que no sistema somente de vedação, as cargas atuarão na estrutura da edificação e não na vedação vertical, como ocorre com o sistema *Quarter Log*.

Contudo, diante da necessidade de um parâmetro de comparação, analisou-se o projeto arquitetônico e calculou-se as cargas atuantes, simulando a utilização da vedação vertical com função estrutural. As cargas consideradas para cálculo foram o telhado, como carga permanente, e a atuação do vento e sobrecarga, como cargas acidentais. O detalhamento dos cálculos realizados encontram-se no Apêndice C.

Através dos cálculos realizados encontrou-se como valor de carga atuante no sistema 15,75KN. Considerando que o sistema proposto iniciou a deformação a partir da aplicação de 60KN, é possível afirmar que o sistema *Quarter Log* está apto a ser utilizado como vedação vertical, por atender as premissas designadas pela norma em relação aos valores de carga a serem suportados até mesmo por um sistema com função estrutural.

O desempenho de um componente construtivo é resultante do desempenho dos materiais que o constituem somado ao desempenho do sistema construtivo proposto, com relação a um determinado uso ou situações de exposição. Como resultado das avaliações descritas, entende-se que os protótipos obtiveram desempenho adequado e satisfatório quanto à segurança estrutural.

Após os ensaios é possível afirmar que os protótipos mantiveram a forma original, sem apresentar frestas, rompimentos e desintegrações. Percebeu-se por meio do ensaio a adequada estabilidade do produto, ou seja, a capacidade de retornar a situação inicial, mesmo após sofrer grandes impactos e carregamentos. Assim sendo, os impactos gerados e os carregamentos realizados nos ensaios não causaram ruptura, nem comprometeram a sua integridade e estabilidade. Considera-se, portanto, que os protótipos obtiveram comportamento e resistência adequada frente aos ensaios realizados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O déficit habitacional na zona rural do Brasil é de 1,5 milhões de moradias e muitas soluções apresentadas para os modelos de habitação, eventualmente, não oferecem aos usuários condições adequadas de segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Conforme aspectos identificados na revisão bibliográfica, tal situação ocorre, entre outros fatores, pela dificuldade de acesso às tecnologias relacionadas aos materiais de construção, ao (des)conhecimento técnico, aos recursos financeiros oriundos de financiamentos, e à ausência de políticas públicas acessíveis à população local.

A procura por soluções que contribuíssem com a mitigação da problemática descrita, fez com que o tema ultrapassasse a esfera pública e se tornasse alvo da atenção de pesquisadores, que buscam desenvolver técnicas construtivas também para a população da zona rural. Tais iniciativas, normalmente, sugerem a utilização de materiais locais, de maneira que a forma de execução seja passível de realização através da mão de obra e infraestrutura disponível na região.

Essa tese apresentou um módulo para vedação vertical voltado para regiões rurais, tendo como recorte territorial o município de Jaguaré, no Estado do Espírito Santo. Inicialmente, diante da dificuldade de acesso aos materiais de construção, foram analisadas as possibilidades oferecidas pela região e, dada a significativa produção da madeira de reflorestamento, optou-se pelo eucalipto.

Através de uma análise técnica foi possível perceber que, apesar da sua produção no Espírito Santo ser direcionada para a fabricação de papel e celulose, o eucalipto apresenta características que possibilitam o seu uso na construção civil. Além de suas qualidades físicas e mecânicas, o eucalipto é uma matéria prima de fonte renovável que permite ter seu formato trabalhado utilizando somente ferramentas básicas de marcenaria.

Neste sentido, buscou-se verificar a aceitabilidade do mesmo, enquanto material de construção na habitação, e a aptidão dos moradores como potenciais executores de suas moradias. Esses dados foram confirmados através da aplicação de um questionário composto por questões de múltipla escolha (Apêndice A). O resultado mostrou que 94% dos entrevistados morariam em uma casa de madeira e 55% demonstraram confiança para executar as mesmas.

Esse levantamento, além de fundamentar o desenvolvimento desta pesquisa, contrariou as citações sobre a existência de preconceito em relação à utilização da madeira na construção civil, devido à associação do material às construções de baixa durabilidade. Uma análise qualitativa dos dados indicou que a população local possui familiaridade com o assunto e reconhece, mesmo que superficialmente, as características que tornam o eucalipto apto para a construção civil, mesmo entendendo ser necessário aplicar técnicas específicas para garantir uma maior durabilidade do material.

Diante do resultado positivo em relação à aceitabilidade do material, realizou-se um reconhecimento da infraestrutura básica encontrada nas marcenarias existentes na região, para que assim os detalhes de interferência nas peças pudessem ser projetados de acordo com o ferramental normalmente disponível. Nesse sentido, o desenvolvimento da pesquisa para a concepção do módulo foi baseado nas seguintes premissas:

- Limitações da população local: econômicas, educacionais, sociais, de infraestruturas, geográfica, dentre outras;
- Ferramentas e equipamentos disponíveis nas marcenarias: serra fita, furadeira, plaina desempenadeira, desengrossadeira, esquadrejadeira, tupia e serra circular de bancada;
- Condicionantes projetuais: variação dimensional das peças de madeira e proteção das peças de madeira em relação ao acúmulo de água;
- Facilidade de execução: especificação de peças com seções comerciais, projeção de cortes e detalhes simplificados com reduzida interferência na forma original da tora, uniformização dimensional dos componentes; e

- Critérios de desempenho: segurança no uso e na operação, estanqueidade, durabilidade, funcionalidade e flexibilidade, conforto tátil, e segurança estrutural.

A proposta em questão, quando comparada ao sistema convencional *Log home* apresenta vantagens projetuais, tais como: a) estanqueidade promovida pelo formato das peças, que facilitam o escoamento da água e pelo ajuste das peças, através das barras rosqueadas; b) menor número de complementos industrializados; c) elementos metálicos protegidos pela própria madeira (barras rosqueadas); d) menor consumo energético na produção das peças; e) peças de madeira simplificadas com menor número de etapas e tempo reduzido para o processamento; f) exequibilidade com as máquinas e ferramentas disponíveis na região; g) necessidade de mão de obra somente com noções básicas de carpintaria; h) menor volume de madeira na envoltória; e i) matéria prima obtida nas proximidades do canteiro, reduzindo a necessidade de transporte de material e mão de obra.

A execução dos componentes com o uso de ferramentas básicas de marcenaria e mão de obra não especializada mostrou-se viável, em vista dos resultados obtidos na produção e montagem dos protótipos. É importante citar que a metodologia de desenvolvimento do protótipo piloto e a oportunidade de acompanhar e avaliar o comportamento das peças de madeira, após a montagem do modelo, apresentou resultados satisfatórios. O processo de retroalimentação na etapa de preparação e montagem dos protótipos possibilitou aperfeiçoamentos projetuais e a obtenção das características pretendidas, dentre elas a facilidade de produção e montagem da proposta.

Em relação às características da tora de madeira que influenciaram na preparação das peças, a conicidade foi a de maior significado, como previsto inicialmente. Devido às particularidades de cada árvore não é possível realizar, na etapa de projeto, uma consideração exata da diferença de diâmetro entre a base e o topo de cada uma. No entanto, o emprego de gabarito possibilitou a padronização dimensional em relação à parte serrada (interna da edificação) das peças em *Quarter Log* e, esteticamente, a diferença de medidas entre as peças citadas, exposta externamente, foi considerado positivo.

É importante citar que o desenvolvimento do sistema em *Quarter Log* buscou atender a sustentabilidade através da racionalização da quantidade de madeira, sendo utilizado 940 metros a menos, quando comparado ao sistema tradicional de toras empilhadas. Nesse sentido, ao compará-lo com o sistema convencional *Log home* e em alvenaria, o uso do módulo *Quarter Log* apresentou uma redução de 21,38% e de 11,87% no custo, respectivamente.

Os ensaios de desempenho estrutural realizados apresentaram resultados satisfatórios, comprovando que o módulo está apto para ser utilizado como vedação vertical para habitações, no quesito segurança estrutural. Os protótipos suportaram os impactos de corpo mole e corpo duro, conforme a solicitação especificada pela norma vigente NBR 15.575:2013 e, como característica de destaque, diagnosticou-se que o seu dimensionamento é suficiente para suportar cargas de compressão axial, equivalente a um sistema de vedação com função estrutural.

Dentre as dificuldades encontradas na realização dos ensaios pode-se citar o problema no transporte em função do elevado peso dos protótipos. Isso se deu em função da decisão de realizar o transporte dos modelos entre serraria e laboratório após a montagem final. Não há dúvidas de que o trabalho seria facilitado se as peças fossem transportadas individualmente e montadas no local de ensaio.

Em relação ao processo de anelamento realizado nas árvores, apesar dos obstáculos encontrados – como o caimento de algumas amostras e a infestação por insetos das árvores que permaneceram de pé –, a realização desse procedimento foi de extrema valia e permitiu perceber a impossibilidade de usar peças sem tratamentos preservativos, devido às características apresentadas pelas espécies cultivadas na região.

Baseado nos dados obtidos nas análises realizadas ao longo da pesquisa, tanto na revisão bibliográfica quanto na experiência de exequibilidade do módulo *Quarter Log*, entende-se que o questionamento apresentado obteve resposta positiva e que a hipótese de estudo – é possível desenvolver um sistema construtivo em madeira – *Eucalyptus grandis* –, de menor custo e direcionado para habitação na zona rural do Espírito Santo, a partir de peças não industrializadas e de fácil manejo, mínima necessidade de mão de obra

especializada e que atenda às exigências de segurança estrutural definidas pela norma de desempenho vigente no Brasil, a NBR 15.575: 2013 – foi confirmada.

A tese é comprovada considerando que o objetivo geral da pesquisa foi alcançado, que foi desenvolver um módulo para vedação vertical em madeira, caracterizado pela facilidade de execução, pelo uso de matéria prima local e a mínima necessidade de mão de obra especializada e que, conseqüentemente, possa contribuir com a redução do déficit habitacional na zona rural.

Observa-se que para o desenvolvimento do produto, considerando especialmente que as diretrizes básicas para um projeto arquitetônico pressupõem a adequada relação com o lugar, utilizou-se como referência as particularidades do município de Jaguaré, especialmente no que diz respeito às condições climática, infraestrutura, materiais e características culturais. Nesse sentido, embora seja factível a adoção do sistema de vedação vertical proposto em locais diferenciados ao escolhido como referencial do estudo, deve ser considerada a eventual necessidade de realização de adaptações.

6.1. Sugestões para Trabalhos Futuros

Em função das exigências naturais de recorte da pesquisa, seja em função do tempo definido para a realização da tese, seja pela infraestrutura disponível, foram observadas algumas necessidades de aprimoramentos especialmente no que tange à complementação dos ensaios e detalhamentos arquitetônicos. Dentre os aspectos a serem otimizados, sugere-se o aprofundamento das soluções relacionadas aos detalhes projetuais nas ligações vedação/estrutura e vedação/esquadrias. Também é desejável a realização de ensaios de durabilidade e de segurança contra incêndio.

Embora para alguns climas brasileiros a vedação vertical seja menos importante em relação ao conforto térmico do que as efetivas soluções arquitetônicas – como por exemplo, amplo sombreamento e ventilação cruzada nos locais de clima temperado úmido – os estudos relacionados ao desempenho térmico do módulo

de vedação vertical *Quarter Log* podem trazer importantes informações para os projetistas que optem pela adoção desse sistema.

Especificamente em relação ao sistema de vedação proposto e visando oferecer contribuições para estudos que tenham o objetivo de propor melhorias na produção habitacional no meio rural, sugere-se:

- Criar um manual para execução do sistema *Quarter Log*, buscando orientar a população na construção de sua habitação;
- Promover ações visando capacitar comunidades organizadas para a produção e execução de suas habitações, empregando o sistema *Quarter Log*; e
- Avaliar e monitorar o comportamento do sistema *Quarter Log* em serviço, através do protótipo de uma edificação em escala real.

REFERÊNCIAS

- ABIKO, A.K. **Introdução à gestão habitacional**. Texto técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo: EPUSP, 1995.
- ABRAMOVAY, R. (1999). Agricultura familiar e desenvolvimento territorial. **Associação Brasileira de Reforma Agrária**. Reforma Agrária e Desenvolvimento Rural. v.28/29, n.1-3. Rio Claro, ABRA.
- ADRIÃO, J.M.A. **Habitação de interesse social em madeira: conjunto habitacional no bairro Pedra 90 após 14 anos de uso**. 2011. 258 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2011.
- AGUIAR, O.J.R. **Métodos para controle das rachaduras de topo para toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden visando à produção de lâminas para desenrolamento**. 1986. 92 f. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia florestal, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.
- AGUIAR, O.J.R.; JANKOWSKY, I.P. Prevenção e controle de rachaduras de topo em tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba: IPEF, n.33, p.39-46, 1986.
- ALBINO, J.C. **Características de crescimento e variação da densidade básica da madeira de 12 espécies de *Eucalyptus* em 3 regiões do Estado de Minas Gerais**. 1983. 90 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1983.
- ALMEIDA, A.; BRUNSTEIN, I. **Análise da rotulagem ambiental integrada ao ciclo de vida de produtos florestais**. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1998_ART499.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2010.
- ALTOÉ, E.S. **Diretrizes projetuais para edificações unifamiliares em toras de eucalipto no Espírito Santo**. 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- ALZATE, S.B.A. **Caracterização da madeira de árvores de clones de *Eucalyptus grandis*, *E. saligna* e *E. grandis* x *urophylla***. 2004. 133 f. Tese (Doutorado) -

Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

AQUINO, J. **Diagnóstico das dificuldades do uso de projeto para produção de vedações verticais**. São Paulo, 2005. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.675**: divisórias leves internas modulares – verificação da resistência a impactos. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: edificações habitacionais – desempenho – requisitos gerais. Parte 1. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575**: edificações habitacionais – desempenho – sistemas de vedações verticais internas e externas. Parte 4. Rio de Janeiro, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico ano base 2009**. Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF 2013**, ano base 2012. Brasília: 2013. Disponível em: www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf. Acesso em: 30 set. 2013.

BARATA, T.Q.F. **Propostas de painéis leves de madeira para vedação externa, adequados ao zoneamento bioclimático brasileiro**. 2008. 283 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

BARRETO, D.I.S; HOLZER, W.; MEDEIROS, H.; WEIMER, G. **A arquitetura popular do Brasil**. Rio de Janeiro: Bom Texto, 2010.

BARROS, M.M.B. NBR 15.575 vai precisar de constantes revisões. **Massa cinzenta**, Paraná, 2012. Entrevista concedida a Altair Santos pela Professora Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em < <http://www.cimentoitambe.com.br/massacinzenta/nbr-15575-vai-precisar-de-constant-revisoes/>>. Acesso em: 03 jun. 2012.

BAUMERT, K.A.; HERZOG, T.; PERSHING, J. **Navigating the numbers: greenhouse gas data and international climate policy**. World Resources Institute. <http://www.wri.org/publication/navigating-the-numbers>.

BISSOLI, M.; ALTOÉ, E. S.; ALVAREZ, C. E.; SAELZER, G. F. Instrumento auxiliar na seleção dos materiais de construção alicerçados nos princípios da sustentabilidade: estudo de caso com eucalipto. In: ENCONTRO NACIONAL, 6., E ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES

SUSTENTÁVEIS, 4., 2011, Vitória. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://lppufes.org/sites/default/files/Artigo%20ELECS%202011%20-%20enviar.pdf>. Acesso em: 30 out. 2013.

BITTENCOURT, R.M. **Concepção arquitetônica da habitação em madeira.** 1995. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BOHE, W.M. **Prefabricación:** Manual de la construcción con piezas prefabricadas. Barcelona: Blume, 1969.

BOKRJESSON, P.; GUSTAVSSON, L. Greenhouse gas balances in building construction: wood versus concrete from life-cycle and Forest land-use perspectives. **Energy Policy**, v.28, n.9, p. 575-588, 2000.

BOLAFFI, G. **A casa das ilusões perdidas:** aspectos socioeconômicos do plano brasileiro de habitação. 1972. 157 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972.

BONDUKI, N. **Política habitacional e inclusão social no Brasil:** revisão histórica e novas perspectivas no governo Lula. Disponível em: http://www.usjt.br/arq.urb/numero_01/artigo_05_180908.pdf. Acesso em: 30 out. 2013.

BORGES, C.A. **O significado de desempenho nas edificações.** Construção Mercado. 2010. Disponível em: <http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nas-edificacoes-282364-1.aspx>. Acesso em: 30 out. 2013.

BORGES, C.A.M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** 2008. 263 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BÖRJESSON, P.; GUSTAVSSON, L. Greenhouse gas balances in building construction: Wood versus concrete from lifecycle and forest land-use perspectives. **Energy Policy**, v.28, n.9, p.575-588, 2000.

BRASIL. Cidades, Ciência & Tecnologia. In: SEMINÁRIO COOPERAÇÕES BRASIL-FRANÇA, 2005, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.habitare.org.br/PublicacaoGet.aspx?CD_PUBLICACAO=36. Acesso em: 30 out. 2013.

BOTREL, M.C.G. ; SILVA, J. R. M. ; TRUGILHO, P. F. ; ROSADO, S. C. S. ; FERNANDES, B. R. Ganho genético em propriedades físicas e mecânicas de clones de *eucalyptus*. **Sci. For.**, Piracicaba, n.76, p.13-19, 2007.

BUENO, C.; ROSSIGNOLO, J.A. Desempenho ambiental de edificações: cenário atual e perspectivas dos sistemas de certificação, 2010. **Pesquisa e Tecnologia Minerva.** v.7, n.1, p.45-52. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2007\(01\)%2006.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2007(01)%2006.pdf). Acesso em: 30 out. 2013.

CABRITA, A.M.R. Definição da qualidade da habitação de forma acessível a seu

adquirente. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO, 2., 1990, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1990. p. 145-156.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Habitação**, 2011. Disponível em: http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/habita/documentos_gerais/demanda_habitacional.pdf. Acesso em: 30 out. 2013.

CALIL JUNIOR, C.; BRITO, L.D. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. São Carlos: EESC/USP, 2010.

CALIL, J.R.C; LAHR, F.A.R.; DIAS, A.A. **Dimensionamento de elementos estruturais em madeira**. Barueri: Manole, 2003.

CALMON, J.L. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. IBRACON, 2007.

CÂMARA Brasileira da Indústria da Construção. Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013./ Câmara Brasileira da Indústria da Construção. - Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. Disponível em: <http://www.cbic.org.br/pagina/desempenho-de-edificacoes-habitacionais>. Acesso em: 15 out. 2013.

CASER, K.C. Panorama da taipa de mão no Espírito Santo. In: ENCONTRO NACIONAL, E ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTAVEIS, 2 e 1, 2001, Canela. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.infohab.org.br/biblioteca_resultado.aspx. Acesso em: 15 dez. 2012.

CASER, K.C.; INO, A. Avaliação de desempenho do protótipo “moradia ecológica” em taipa de mão. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.infohab.org.br/biblioteca_resultado.aspx. Acesso em: 15 dez. 2008.

CERVO, A. L., BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

CONSELHO Brasileiro de Construção Sustentável. Materiais, Componentes e a Construção Sustentável. 2009. Disponível em: http://www.cbcs.org.br/userfiles/comitestematicos/materiais/CT_materiais.pdf. Acesso em: 15 out. 2013.

CRUZEIRO, E.C.; MARTINS, E.C.; MURATORE, J.R. Park Hotel - Um exemplo de Arquitetura em Macieira há 50 anos. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1995, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, EEUFMG/ CEFET- MG/ IBRAMEM. vi, p261.

CSILLAG, D.; JHON, V.M. **Análise das práticas das construções sustentáveis na América Latina**. 2008. 10 f. Boletim Técnico, Escola Politécnica da Universidade de São paulo, São Paulo, 2008.

CUNHA, R.D.A. O eucalipto roliço na arquitetura Brasileira. In: ENCONTRO

BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, São Carlos. **Anais...** São Carlos, SP: UFMT, 2004.

CYMBALUK, F. **Família brasileira encolhe e cada vez mais gente mora sozinha, aponta IBGE**, 2001. Disponível em: <http://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2012/09/21/familia-brasileira-encolhe-e-cada-vez-mais-gente-mora-sozinha.htm>. Acesso em: 30 out. 2013.

CYRINO, L.F. **Influência do reboco e do reboco armado com tela soldada na resistência da alvenaria de vedação submetida à compressão simples**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia dos Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

DEMOGRÁFICO, Censo. Características da População e dos Domicílios. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**, Rio de Janeiro, 2000.

_____, Censo. Características da População e dos Domicílios. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**, Rio de Janeiro, 2010.

DICIONÁRIO de ciências sociais. Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1987.

DREYER, L.C.; HAUSCHILD, M.Z.; SCHIERBECK, J. A framework for social life cycle impact assessment. Lyngby/Holte. **Int J LCA**. v.11, n.2, p. 88-97, 2006.

DUPRAT, A. (1960). A casa rural. In: MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Problemas de habitação rural**. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola, Cap. 4, p.63-73. (Estudos Brasileiros n-13).

ELDER, A.J. **Construcción**. Madrid: Blume Ediciones, 1977.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa Florestas Sistemas de Produção**. Brasília, 2010. Disponível em: sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Eucalipto/CultivadoEucalipto_2ed/Indicacao_Especies.htm. Acesso em: 30 set. 2013.

FERNANDES, M. **Agenda habitat para municípios**. Rio de Janeiro: IBAM, 2003.

FERRAZ, D.R.L. **A questão fundiária urbana**: reflexões sobre os direitos e as representações em relação à moradia. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em História, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2007.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. **Silvicultura**, v.2, n.14, p.148-152, 1978.

FOELKEL, C.E.B. Madeira de eucalipto: da floresta ao digestor. **Boletim Informativo**: IPEF. Piracicaba, 1978. Disponível em: www.ipef.br/publicacoes/boletim_informativo/bolinf20.pdf. Acesso em: 30 set. 2013.

FOLIENSTE, G. **Performance based building**. Performance Based Building Networks. Disponível em: <http://www.constructioninnovation.info/images>

/pdfs/conference_cd_2004/conference/Papers/Refereed%20Papers/146%20Foliente.pdf . Acesso em 28 out. 2013

FOLIENSTE, G.C. Developments in performance-based building codes and standards. **Forest Products Journal**, Geórgia, p. 12-21, 2000.

FOLZ, R.R. **Mobiliário na habitação popular**: discussão de alternativas para melhoria da habitabilidade. São Carlos: RiMa, 2003.

FOLZ, R.R.; INO, A. Estrutura de eucalipto roliço e o subsistema de vedação de residência unifamiliar. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.19, n.2, p.210-218, 2012.

FOLZ, R.R.; MAIA, R.T.; INO, A. **Análise do programa de financiamento habitacional que possibilitou a utilização de técnicas construtivas não convencionais no assentamento rural Sepé Tiaraju, Serra Azul – SP**. Trabalho apresentado no Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de interesse Social, 2010. Disponível em: <http://www.joaobn.com/chis/Artigos%20CHIS%202010/085%20-%20A.pdf>. Acesso em: 23 set. 2013.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. (1993). Déficit Habitacional no Brasil. São Paulo, PNUD.

GANDINO, Y. S. N.; SILVA, C. J. da. A casa pantaneira – morada tradicional de uma comunidade Ribeirinha do Pantanal Matogrossense. Trabalho apresentado no IV Encontro Nacional e II Encontro Latino – Americano sobre edificações e comunidade sustentáveis. 2007. Disponível em: http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/2007/2007_artigo_001.pdf. Acesso em: 15 dez. 2013.

GAVA, M.; INO, A.; GARCIA, J.N. **Concepção e desenvolvimento de componentes construtivos para habitação social utilizando madeira de *Pinus sp* de terceira classe de qualidade**. Trabalho apresentado no XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Fortaleza, 2008. Disponível em: http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/habis/biblioteca/digital/artigos/materiais_tecnicas_e_sistemas/Artigo_ENTAC2008_ComponentesConstrutivosHabita%C3%A7ao_Gava_Ino_Garcia.pdf. Acesso em: 23 set. 2013.

GÉRARD, J.; BAILLERES H.; FOURNIER, M.; THIBAUT, B. Qualité du bois chez les eucalyptus de plantation – Etude de variation de trois propriétés de référence. **Bois et Forêts des Tropiques**, n.245, p 101-111, 1995.

GERRILLA, G.P.; TEKNOMO, K.; HOKAO, K. An Environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. **Journal of Building and Environment**, v.42, n.7, p.2778-2784, 2007.

GIBSON, E.J. Working with the Performance Approach in Building. **CIB Report Publication**, n.64, Rotterdam, 1982.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GOINS, J.; MOEZZI, M. Linking occupant complaints to building performance.

Building Research & Information. v.41, n.3, p.361-372, 2013.

GONÇALVEZ, F.G. **Avaliação da qualidade da madeira de híbrido clonal de *eucalyptusurophylla x grandis* para produtos sólidos.** 2006. 169 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

GÖTZ, K.H. Ossature em bois. **Construire en bois: choisir, concevoir, réaliser.** Réimpression. Lausanne: PPUR, 1995. p.175-235.

GOVERSE, T.; HEKKERT, M. P.; GROENEWEGEN, P.; WORRELL, E.; SMITS, R. E. H. M. Wood innovation in the residential construction sector; opportunities and constraints. **Resources, Conservation and Recycling**, v.34, p.53–74, dezembro. 2001. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344901000933. Acesso em: 1 out. 2013.

GRANDE, F.M. **Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa.** 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

GROSS, J.G. **Developments in the application of the performance concept in building.** National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, 1996. Disponível em: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build96/PDF/b96145.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade - HABIS. Disponível em: <http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/habis/habis.html>. Acesso em: 10 nov.2013.

GUSTAVSSON, L.; JOELSSON, A.; SATHRE, R. *Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-story wood-framed apartment building.* **Energy & Buildings**, Philadelphia, v. 42, p. 230-242, 2010.

HAAS, J.M.; HILLIG, C.H. **A abordagem da pobreza rural no contexto das novas ruralidades.** In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 48. Campo Grande, 2010. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/15/94.pdf>. Acesso em: 03 set. 2013.

HAPURNE, T.; CORDUBAN, C.; BLIUC, I. Applying the concept of total building performance to assess the quality of building. **Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy**, Roménia, n.4, p.155-164, 2011.

HEMPEL, R. **Sistemas constructivos de madeira sólida.** Universidad del Bio Bio: Concepción, 2008.

HERZOG, T.; VÖLTZ, M. Connaissances de base: Le materiau. In: NATTERER, J. et al. *Construire en bois 2.* 2 eme edition augmentée. Lausanne: PPUR, 1998. Chap. 2. P. 34-66.

HIJIOKA, A.; JOAQUIM, B.; INO, A. **Minka** – the houses of Japanese imigrants in Ribeira valley, São Paulo, Brazil. 2012. Disponível em: <http://www.producao>.

usp.br/handle/BDOI/43370?show=full. Acesso em: 20 de nov. 2013.

HILDEBRANG, R. Klin drying of sawn timber. Nuertingen: R. H. Maschinenbau GmbH, 1970, 198p.

IBGE. 2014. PESQUISA DE ORÇAMENTO FAMILIAR.

<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/orcfam/default.asp?z=t&o=23&i=P>

INO, A. Classificação de sistemas construtivos em madeira, alguns exemplos de construção de madeira para habitação no Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4., 1992, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1992. v.5, p. 29-37.

INO, A. **Minicurso**: projeto e construção em madeira. Elecs: Recife, 2009.

INO, A.; SHIMBO, I. **Construções de edificações em madeira de eucalipto**:

experiências desenvolvidas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1. 1997. Disponível em:

http://www.elecs2013.ufpr.br/wp-content/uploads/anais/1997/1997_artigo_21.pdf.

Acesso em: 23 set. 2013.

INSTITUTO de pesquisa econômica aplicada. Estimativas do déficit habitacional brasileiro (2007-2011) por município (2010). Nota técnica. Brasília, 2013.

Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/nota_tecnica/130517_notatecnicaDirur01.pdf. Acesso em: 15 set. 2013.

INSTITUTO de pesquisa tecnológica do Estado de São Paulo. **Formulação de critérios para avaliação de desempenho de habitações**. São Paulo, 1986.

INSTITUTO de Obras Públicas do Estado do Espírito Santo. Tabela de custos referenciais. Disponível em: <http://179.184.199.244/siteiopes/>. Acesso em 20 nov. 2013.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES.

http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=4137:produto-interno-bruto-pib-estadual-2012&catid=52&Itemid=252.

_____ http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=4162:produto-interno-bruto-pib-dos-municipios-2012&catid=51&Itemid=126.

Acesso em: 09 jan. 2015.

_____ ftp://ftp.ibge.gov.br/Contas_Nacionais/Contas_Nacionais_Trimestrais/Fasciculo_Indicadores_IBGE/pib-vol-val_201403caderno.pdf. Acesso em: 09 jan. 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6241**:

Performance Standards in Building - Principles for their Preparation and Factors to be Considered. Geneva, Switzerland, 1984.

ISSA, C.A.; KMEID, Z. Advanced wood engineering: glulam beams. **Construction and Building Materials**, v.19, n.2, p. 99–106, 2005.

IZIQUÉ, C. **O Brasil rural não é só agrícola**. 2012. Disponível em:

[http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/08/202-](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/08/202-207_brasil_rural.pdf)

[207_brasil_rural.pdf](http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/08/202-207_brasil_rural.pdf). Acesso em: 18 mar. 2013.

JACOBO, G.J. Construcciones arquitectónicas modernas en Madera. Universidad Nacional Del Nordeste, comunicaciones científicas y tecnológicas, 2004.

JACOBO, G.J.; CELANO, J.A. **El hábitat humano en el NEA una perspectiva de solución desde la óptica tecnológica**: uso de la madera en sistemas constructivos. Argentina: Ediciones Moglia SRL, Corrientes, 2002. jan. de 2010.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. **Manual de diseño para maderas del grupo andino**. Lima: PADT/REFORT/JUNAC, 1984.

KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica**: teoria da ciência e iniciação à pesquisa. 21. ed. Petrópolis: Vozes, 2003.

KRONKA, R.C.; DEL CARLO, U. *Eucalyptus grandis*: sustainable solution for the Brazilian building sector. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITETURE, 18., 2001, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis, 2001. p. 415-420.

KUBLER, H. Growth stresses in trees and related wood properties. **Forestry Abstracts**, Oxfordshire, p.131-189, 1987.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiencia energética na arquitetura**. Disponível em:
http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/apostilas/eficiencia_energetica_na_arquitetura.pdf. Acesso em 05 jan. 2015.

LAROCA, C. **Habitação social em madeira**: uma alternativa viável. 2002. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LEIPZIGER, D. **Comparing building energy performance measurement**: a framework for international energy efficiency assessment systems. Institute for Market Transformation, Washington, 2013. Disponível em:
<http://www.imt.org/uploads/resources/files/ComparingBuildingEnergyPerformanceMeasurementFINAL.pdf>. Acesso em: 30 out. 2013.

LEITE, T.M. **Análise da viabilidade técnica e econômica da produção de janelas de madeira de eucalipto em uma marcenaria coletiva autogestionária para projetos de habitação social rural**. 2009. 259 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

LOPES, A. E. V.; NUNES, L. C. **Intensidades sísmicas de terremotos**: formulação de cenários sísmicos no Brasil. Disponível em:
www.revistas.usp.br/revusp/article/download/34854/37592. Acesso em 05 jan. 2015.

LORDELLO, E. Por um futuro mais doce para o Park Hotel. Minha Cidade, Vitruvius, ano 08. ISSN 1982-9922. <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/08.095/1889>

MAIA, R.T. **Avaliação das variáveis que influenciaram no uso da terra como material construtivo para habitação social rural no Assentamento Rural**

Sepé Tiaraju, Serra Azul. 2011. 217 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MALAN, F.S. **Studies on the phenotypic variation in growth stress intensity and its association with tree and wood properties of South Africa Grow, Eucalyptus grandis** (Hill ex Maiden). 1984. Tese (Doutorado em Tecnologia da Madeira) - University of Stellenbosch, 1984.

MARICATO, E. **Brasil, cidades:** alternativas para a crise urbana. Petrópolis: Vozes, 2001.

MARTITEGUI, F.A. Efecto de las gemas en la resistencia a flexión de piezas enterizas de madera, **Materiales de Construcción**, Madrid, v. 57, n. 288, p. 61-76, 2007.

MARTUCCI, R. **Projeto tecnológico para edificações:** utopia ou desafio. 1990. 438 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MATOS, C. **Urbanização atinge a maior taxa da história, mostra Censo.** 2011. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/908759-urbanizacao-atinge-a-maior-taxa-da-historia-mostra-censo.shtml>. Acesso em: 30 out. 2013.

MATOS, J.L.M.; IWAKIRI, S.; ROCHA, M. P.; PAIM, R. M.; ANDRADE, L. O. O. Redução do efeito das tensões de crescimento em toras de *Eucalyptus dunnii*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 128 - 135, 2003.

MATTHECK, C.; WALTHER, F. A new felling technique to avoid end-splitting of deciduous trees. 1991. 3 f. Karlsruhe Nuclear Research Centre, Institute for Materials Research II, Germany.

MAY, J. **Casas hechas a mano y otros edificios tradicionales:** arquitectura popular. Editora Blume, Barcelona, 2011.

MEIRELLES, C.R.M. ; DINIS, H. ; SEGALL, M. L. ; SANT'ANNA, S. **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções.** In: FÓRUM DE PESQUISA FAU MACKENZIE, 3. São Paulo, 2007. Disponível em: http://www4.mackenzie.br/fileadmin/Graduacao/FAU/Publicacoes/PDF_IIIForum_a/MACK_III_FORUM_CELIA_REGINA.pdf. Acesso em: 08 março 2010.

MELHADO, S.B. **Gestão, cooperação e integração para um novo modelo voltado à qualidade do processo de projeto na construção de edifícios.** 2001. 235 f. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MELO, E.J. et al. Habitação popular em Madeira. Brasília: **LPF**, 2002. 100 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Assistência técnica, um direito de todos:** construindo uma Política Nacional. Brasília: Secretaria Nacional de habitação, 2007. Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/>

id/80/titulo/Assistencia+Tecnica,+um+Direito+de+Todos+-+Construindo+uma+Política+Nacional+-+Experiencias+ em+Habitacao+de+Interesse+Social+no+Brasil. Acesso em: 02 de out. de 2013.

MIRANDA, A.R.; CZAIJKOWSKI, J. Aspectos de uma arquitetura rural no século XIX. In: Fazendas: solares da região cafeeira do Brasil imperial. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1987. 195 p.

MITIDIARI FILHO, C.V. (1998). **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MITIDIARI FILHO, C.V; HELENE, P.R.L. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações**: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. 1998. 38 f. Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MOREIRA FRANCO, W. O déficit habitacional. **O Dia**, Brasília, 14 fev. 2012. Artigo concedido pelo Ministro da Secretaria de Assuntos Estratégicos. Disponível em: www.sae.gov.br/site/?p=10601. Acesso em: 2 out. 2013.

MOREIRA, M. **Renda per capita da família brasileira cresce 3% ao ano em uma década, aponta estudo**. 2013. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/noticia/2013-08-05/renda-capita-da-familia-brasileira-cresce-3-ao-ano-em-uma-decada-aponta-estudo>. Acesso em: 30 out. 2013.

MORIKAWA, D.C.L. **Métodos construtivos para edificações utilizando componentes derivados da madeira de reflorestamento**. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MOTTA, S.; AGUILAR, M.T. Sustentabilidade e processos de projetos de edificações. **Gestão e Tecnologia de Projetos**. v.4, n.1, 2009.

NEBEL, G.; QUEVEDO, L.; JACOBSEN, J. B.; HELLES, F. Development and economic significance of forest certification: the case of FSC in Bolivia. **Forest Policy and Economics**. Frederiksberg/Santa Cruz de la Sierra, v. 7, p. 175-86, 2005.

NISHIDA, Y.; HUA, Y. Motivating stakeholders to deliver change: Tokyo's Cap-and-Trade Program. **Building Research Information**, Londres, p. 518-533, ago. 2011.

NÚCLEO DE ESTUDOS AGRÁRIOS E DESENVOLVIMENTO RURAL. **Distribuição de Riqueza e Crescimento Econômico**. Brasília, Ministério do Desenvolvimento Agrário, 2000.

OLESZKIEWICZ, I. The Concept and Practice of Performance-Based Building Regulations. National Research Council Canadá, Canadá, 1994.

OLIVEIRA, A.M., SILVA, G.P., CARVALHO, R.R.B. Park Hotel: o regionalismo crítico de Lúcio Costa e o desafio da rearquitetura em obras modernas. In: SEMINÁRIO DOCOMOMO BRASIL, 7. **Anais...** Porto Alegre, 2007.

OLIVEIRA, C.N. de. **O paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações**. 2009. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2009.

OLIVEIRA, J. T. História do Estado do Espírito Santo. **Coleção Canaã**, Vitória, 3.ed., v.8, 670 f, 2008.

OLIVEIRA, J.T.S. O potencial do eucalipto para a produção de madeira sólida. **Revista da Madeira**, Brasília, n.75, p. 1-8, 2003.

OLIVEIRA, J.T.S. Problemas e Oportunidades com a Utilização da Madeira de Eucalipto. In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO. **Anais...** Viçosa, 1999.

OLIVEIRA, L.A. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. 2009. 267 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

_____. Projeto de fachadas leves: especificações de desempenho. *Revista Pós*, v.16, n.25, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, L.A.; MITIDIERI FILHO, C.V. O projeto de edifícios habitacionais considerando a Norma Brasileira de Desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. **Gestão e Tecnologia de Projetos**. v. 7, n. 1, 2012. Disponível em: <http://www.iau.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/index.php/gestaodeprojetos/article/view/208>. Acesso em: 30 out. 2013.

OLIVEIRA, R.; WAGNER, F.S.; GROHMANN, S.Z. A madeira como alternativa racional para habitação. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.infohab.org.br/biblioteca_resultado.aspx. Acesso em: 15 jun. 2008.

ONO, R. Parâmetros para garantia da qualidade do projeto de segurança contra incêndio em edifícios altos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 97 – 113, 2007.

PARTEL, P.M.P. **Painéis estruturais utilizando madeira roliça de pequeno diâmetro para habitação social**: desenvolvimento do produto. 2006. 273 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São paulo, São Carlos, 2006.

PATTON, M.Q. (1990). *Qualitative Evaluation and Research Methods*. (2nd ed.). Newbury Park, CA: Sage.

Pesquisa Nacional por amostra de domicílio. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística** – IBGE, Rio de Janeiro, 2012.

- PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**, Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003.
- PICARELLI, M. **Habitação uma interrogação**. São Paulo: FAU/USP, 1986.
- PICKETT, R. **Prevention of air & water infiltration: a systems approach**. 2014. Disponível em: <http://loghomes.org/wp-content/uploads/2014/12/Prevention-of-Air-Water-Infiltration-A-Systems-Approach-2014-FINAL.pdf>. Acesso em 05 jan. 2015.
- PONCE, R.H. Perspectivas do eucalipto na substituição de madeiras nativas. In: SEMINÁRIO SOBRE PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DE MADEIRAS DE REFLORESTAMENTO, 3. **Anais...** Curitiba, 1994.
- PRATT, G. H. Timber drying manual. London: Department of the Environment, Building Research Establishment, 1974. 152p.
- PROTÁSIO, T.P.; COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F. Análise da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010.
- RASMUSSEN, E. F. **Drying kiln operator's**. Madison: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1968, 197p.
- ROCHA N.M.L. **Sistema construtivo "1/4 de log"**. 1994. F. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Centro de Artes, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1994.
- ROCHA, D.C. **Desenvolvimento de estruturas articuláveis de madeira**. 2010. 582 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.
- ROCHA, M.P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias Curitiba**. 2000. 185 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.
- ROMAMO, E. Madeira: o material de construção mais eco-eficiente. In: CONGRESSO IBÉRICO A MADEIRA NA CONSTRUÇÃO, 1., 2004, Guimarães. **Anais...** Guimarães, Universidade de Minho, 2004.
- ROSSO, T. **Racionalização da construção**. São Paulo: FAU/ USP, 1980.
- ROZAS MELLADO, E.C.E. **Contribuição ao desenvolvimento tecnológico para a utilização de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) na geração de produtos com maior valor agregado**. 1993. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.
- SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. 207 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SABBATINI, F.H.; FRANCO, L. **Notas de aula da disciplina de tecnologia de produção de vedações verticais** – TG 04 e PCC 2435 [online]. São Paulo; EPUSP, 2001. [cited 2001 nov. 20]. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/Graduação/PCC2435-aula18a.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2011.

SALADO, G.C. **Painel de vedação vertical de tubos de papelão**: estudo, proposta e análise de desempenho. 2011. 159 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SANTOS, C.H.M. **Políticas Federais de Habitação no Brasil**. Brasília: IPEA, 1999.

SANTOS, D.G. ; COSTA, B. ; FREIRE, K. ; SILVA, R. ; RODRIGUES, W. Práticas profissionais de tecnologia das construções: obras da universidade federal de Sergipe. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 104-125, 2013.

SANTOS, L.M. **A arquitetura no desenvolvimento sustentável**: proposta para comunidades rurais de países em desenvolvimento. 2010. 197f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Arquitetura – Faculdade de ciências e tecnologia, Universidade de Coimbra, 2010.

SANTOS, M.P.; AGUILAR, M.T.P. Wood panels for vertical closure in buildigins. 2007. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20081029100808.pdf. Acesso em 02 set. 2010.

Secretaria de Assuntos Estratégicos – SAE. Disponível em: <http://www.sae.gov.br/site/?p=17351#ixzz351LWlwUA>. Acesso em: 27 ago. 2014.

SECO, J.F.G ; BARRA, M. R. D. ; OLIVA, A. G. Caracterización mecánica de la madera aserrada de uso estructural, clasificada visualmente de acuerdo con la norma UNE 56544. **Materiales de Construcción**, Madrid, v. 48, n. 252, 1998.

SERTORI, R.J.V. **O mutirão do projeto Inovarural estratégias da assessoria técnica na produção da moradia rural**. 2012. 198 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SHIELD, E.D. *Plantation grown eucalypts: Utilization for lumber and rotary veneers - primary conversion*. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, São Paulo, 1995. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/cap13.pdf. Acesso em: 30 out. 2013.

SILVA, J.C. Influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, Brasília, n.75, p.1-10, 2003.

SILVA, R. D.; BASSO, A. Análise de desempenho de habitações de interesse social em madeira: estudo de caso. In: ENCONTRO NACIONAL E I ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTAVEIS, 2., 2001, Canela. **Anais...** Rio Grande do Sul, 2001.

SILVA, R.D.; INO, A. Habitação econômica em madeira no Brasil: estado da arte. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11. **Anais eletrônicos...** Disponível em: www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/habis/biblioteca/digital/artigos/materiais_tecnicas_e_sistemas/Artigo_EBRAMEM2008_HabitacaoMadeiraBrasil-estado%20da%20arte_Silva_Ino.pdf. Acesso em: 30 set. 2013.

Sindicato da Indústria e da Construção Civil no Estado do Espírito Santo. Disponível em: http://www.sinduscon-es.com.br/v2/cgi-bin/cub_detalhe.asp?menu2=23. Acesso em 27 jul.2014

SOUZA, M. Desempenho em xequê. **Anicer**, ano XVI, edição 83, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: www.anicer.com.br. Acesso em: 10 nov. 2013.

SOUZA, R. (1984). Avaliação de desempenho aplicado a novos componentes e sistemas construtivos para habitação. São Paulo, IPT.

SOUZA, R. A avaliação de desempenho aplicada a novos componentes e sistemas construtivos para habitação. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO E SUA APLICAÇÃO ÀS HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL, 1981, São Paulo. **Anais eletrônicos...** Disponível em: http://www.infohab.org.br/biblioteca_resultado.aspx. Acesso em: 10 jun. 2013.

SOUZA, R.; MITIDIÉRI FILHO, C.V. **Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular**: conceituação e metodologia. São Paulo: Instituto de pesquisa tecnológica do estado de São Paulo - Tecnologia de edificações, 1988.

SZIGETI, F.; DAVIS, G. **The PeBBu Study**: Compendium of Statements of Performance Based (PB) Statements of Requirements (SoR), International Center for Facilities (ICF), Ottawa, 2005.

SZÜCS, C.P. **Autoconstrução em madeira**. Florianópolis, 1992. Disponível em: www.arq.ufsc.br/arq5661/madeiras/historia.html. Acesso em: 15 jan. 2011.

TAVARES, S.F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. 225 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TEIXEIRA TRIGO, J.A. Tecnologia da construção de habitação. Lisboa, 1978.

THOMSEN, A.; SCHULTMANN, F.; KOHLER, N. Deconstruction, demolition and destruction. **Building Research Information, Londres**, p. 327-332, 2011.

TRAMONTANO, M. Unidades 001 e 002, habitação social em madeira de reflorestamento e terra crua. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1. 1997. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.infohab.org.br/acervos/advanced-search>. Acesso em 23 set. 2013.

TRAMONTANO, M.; ATIQUÉ, F. Três propostas contemporâneas para habitação social em madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E EM

ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6. 1998. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.infohab.org.br/acervos/advanced-search>. Acesso em 23 set. 2013.

TURK, A.M. The benefits associated with ISO 14001 certification for construction firms: Turkish case. **Journal of Cleaner Production**. Istanbul, v. 17, p. 559-569, 2009.

UNIVERSIDAD del Bio Bio. **Cuadernos de edificación en Madera**. Concepción: Anibal Pinto, 1998.

UPTONA, B. et al. The greenhouse gas and energy impacts of using. Wood instead of alternatives in residential construction in the United States. **Biomass and Bioenergy**, vol. 32, p. 1–10, 2008.

VALE, R.S. et al. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n.3, p. 285-297, 2002.

VALLE, I.M.R. **A pré-fabricação de dois sistemas de cobertura com madeira de florestas plantadas**: estudos de casos, os assentamentos rurais de Pirituba II e Sepé-Tiaraju. 2011. 181 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

VALLE, I.M.R. et al. O sistema estrutural pré-usinado pilar-viga em madeira. Caso: 08 moradias no assentamento rural Sepé-Tiarajú, Serra Azul-SP. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11. Disponível em: http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/habis/biblioteca/digital/artigos/materiais_tecnicas_e_sistemas/Artigo_EBRAMEM2008_Sistema%20Pilar_Viga_Valle_Silva_do%20Vale_Simoes_Shimbo_Ino.pdf. Acesso em 23 set. 2013.

VANIER, D.J.; LACASSE, M.A; PARSONS, A. **Modeling of user requirements using product modeling**. Institute for Research in Construction, Canadá, 2006. Disponível em: <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/obj/irc/doc/pubs/nrcc38761.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2013.

VASCONCELLOS, S. **Arquitetura no Brasil**: sistemas construtivos. Belo Horizonte: Roma, 1979.

VOLPATO, G.L. Método lógico para redação científica. Best Writing: Botucatu, 2010.

WAUGH, G. Sawing of Young, Fast-Grow Eucalypts. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE ALTA TECNOLOGIA e ENCONTRO SOBRE TECNOLOGIAS APROPRIADAS DE DESDOBRO, SECAGEM E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1. **Anais...** Belo Horizonte, 1998. p. 69-81.

WEIMER, G. Enxaimel: a arquitetura do imigrante no Rio Grande do Sul. Cj Arquitetura, São Paulo, SP, v. 14, n. 1, p. 56-53, 1977.

WEISSHEIMER, M.A. **Renda cresce mais nas áreas pobres rurais.** 2012. Disponível em: <http://www.cartamaior.com.br/?/Editoria/Economia/Renda-cresce-mais-nas-areas-pobres-rurais%0D%0A/7/26335>. Acesso em: 30 out. 2013.

YUBA, A.N. **Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais.** 2005. 227f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ZANI, A.C. Arquitetura em madeira. **Imprensa Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2003.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO ACADÊMICO

Prezado entrevistado,

Este questionário acadêmico tem como objetivo conhecer a aceitabilidade da madeira de eucalipto para a construção de habitações, na zona rural, a fim de contribuir com o desenvolvimento de uma tese de doutorado.

Observações:

- Os entrevistados foram escolhidos de maneira aleatória
- Todos os dados obtidos neste questionário serão confidenciais

QUESTIONÁRIO				
DADOS PESSOAIS				
Sexo				
<input type="checkbox"/> Masculino		<input type="checkbox"/> Feminino		
Em qual ano você nasceu?				
Estado civil				
<input type="checkbox"/> Solteiro		<input type="checkbox"/> Casado		<input type="checkbox"/> Viúvo
<input type="checkbox"/> Outro				
Grau de escolaridade				
<input type="checkbox"/> Não frequentou a escola	<input type="checkbox"/> Até 4ª série		<input type="checkbox"/> Até 8ª série	<input type="checkbox"/> Ensino médio incompleto
<input type="checkbox"/> Ensino médio completo				
TRABALHO				
Qual a posição de trabalho nesta fazenda?				
<input type="checkbox"/> Meeiro		<input type="checkbox"/> Funcionário fixo		<input type="checkbox"/> Funcionário temporário
Em qual atividade atua na maior parte do tempo?				
<input type="checkbox"/> Café		<input type="checkbox"/> Eucalipto		<input type="checkbox"/> Maquinário
<input type="checkbox"/> Outro				
Já trabalhou na construção civil?				
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não		
Já usou alguma ferramenta básica de marcenaria (serra circular, por exemplo)?				
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não		
Qual é a renda mensal da sua família?				
<input type="checkbox"/> Até R\$ 155,00	<input type="checkbox"/> de R\$ 155,00 a R\$ 311,00		<input type="checkbox"/> de R\$ 312,00 a R\$ 622,00	<input type="checkbox"/> de R\$ 623,00 a R\$ 1.244,00
<input type="checkbox"/> Mais de R\$ 1.244,00				
HABITAÇÃO				
Possui casa própria?				
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não		
Quantas pessoas moram com você?				
<input type="checkbox"/> Uma		<input type="checkbox"/> Duas		<input type="checkbox"/> Três
<input type="checkbox"/> Mais de três				
Qual é o tipo de construção da casa onde mora?				
<input type="checkbox"/> Alvenaria		<input type="checkbox"/> Madeira		<input type="checkbox"/> Mista (alvenaria e madeira)
<input type="checkbox"/> Outro				
Moraria numa casa construída com eucalipto?				
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não		
Conseguiria construir a sua casa de eucalipto com o auxílio de um manual de instruções?				
<input type="checkbox"/> Sim		<input type="checkbox"/> Não		

APÊNDICE B – PROJETO ARQUITETÔNICO

APÊNDICE C – Exemplos de flexibilização do módulo para vedação vertical proposto

APÊNDICE D - Cálculo para avaliação do ensaio de compressão axial simples

- Características consideradas:

- Cobertura com telha cerâmica tipo colonial (peso 0,65KN/m²);
- Madeira para a estrutura do telhado: dicotiledônea, 2ª categoria ($f_{co,k}$ 30MPa, K_{mod} 0,56, $f_{yo,k}$ 5Mpa, $E_{co,m}$ 14.500MPa e P_{apar} 650Kg/m³);
- Beiral: 0,80m; e
- Umidade relativa do ar: 75%, pertence à classe 2.

- Carga permanente: peso próprio da tesoura e do contraventamento

- Tesoura central:

Fórmula de Howe $q_t = 0,0245 (1 + 0,33 \times l)$

$$q_t = 0,0245 [1 + 0,33 (2,25 + 1,99) \text{ » } \underline{q_t = 0,06KN/m^2}$$

- Composição da cobertura:

- 1) Telha colonial com absorção de água: 0,95KN/m².

- 2) Ripas: base x altura x peso x quantidade/m » 0,015 x 0,05 x 6,5 x 3 = 0,015KN/m².

- 3) Caibros: base x altura x peso x quantidade/m » 0,05x0,06x6,5x2 = 0,039KN/m².

- Terças: base x altura x peso » 0,06 x 0,16 x 6,5 = 0,06KN/m².

$$q_t = 0,06 + 0,95 + 0,015 + 0,039 + 0,06 \text{ » } q_t = 1,124KN/m^2 \text{ » } \underline{q_t = 1,0KN/m^2}.$$

Carga equivalente em projeção horizontal: $q_c = q \div \cos 30^\circ \text{ » } q_c = 1 \div \cos 30^\circ \text{ » }$

$$\underline{q_c = 1,155KN/m^2}.$$

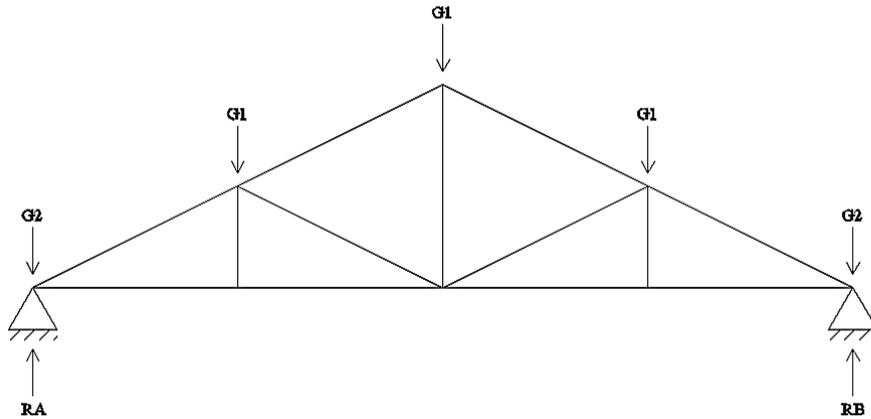
- Carga acidental:

- Vento: como a telha cerâmica é encaixada e não amarrada na estrutura, dispensa-se os efeitos de sucção.

b) Sobrecarga: 1KN no centro da terça (NBR 6120:1980) » $p = 1\text{KN} \div 1,45 \times 3,98$
 »

$p = 0,17\text{KN/m}^2$.

- Cálculo da reação de apoio da tesoura intermediária



$G1 = [(q_t + q_c) \times m + q_o] \times a$

Sendo,

$a = 2,25 + 1,99 = 4,24\text{m}$ e $m = 1,40\text{m}$

$G1 = [(0,06 + 1,16) \times 1,4 + 0,06] \times 4,24 = \underline{7,50\text{KN}}$

$G2 = [(q_t + q_c) \times m \div 2 + q_o] \times (a + \text{beiral})$

$G2 = [(0,06 + 1,16) \times 0,70 + 0,06] \times (4,24 + 0,70) = \underline{4,52\text{KN}}$

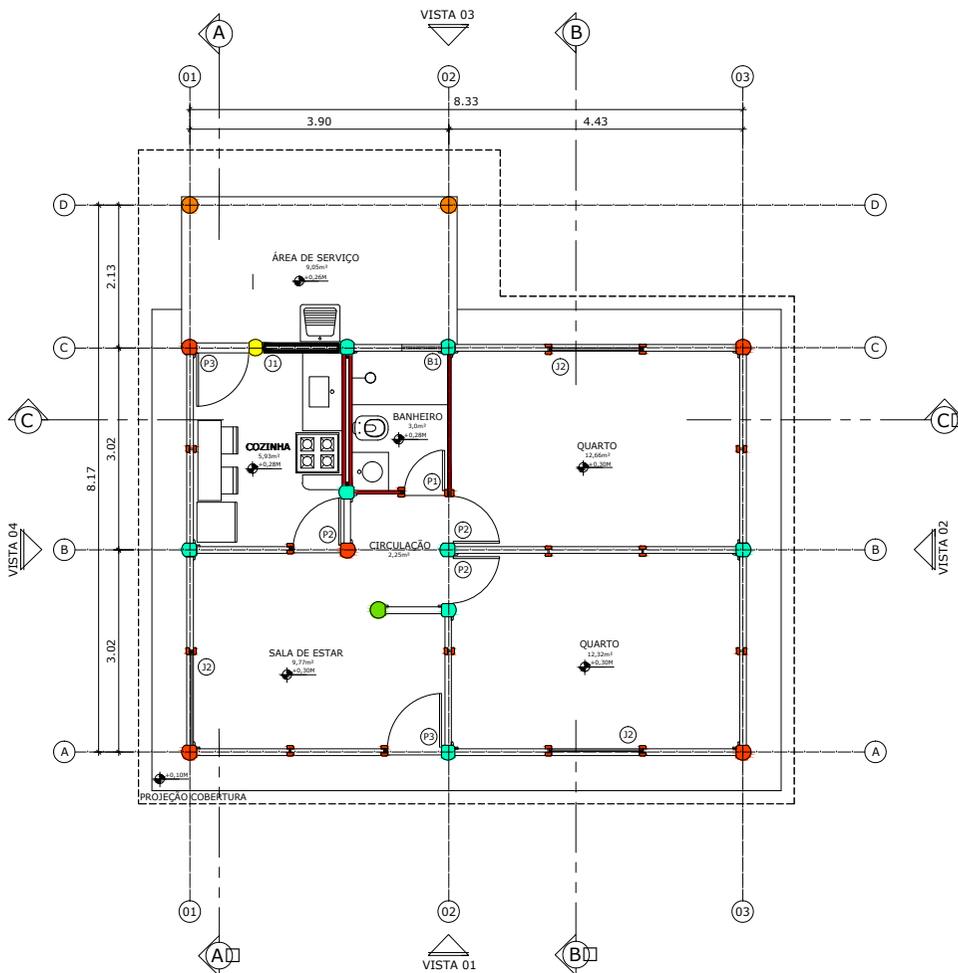
Reação de apoio = $4,5 + 7,5 + 3,5 = \underline{15,75\text{KN}}$

APÊNDICE E - Caracterização das exigências de desempenho estabelecidas pela NBR 15.575:2013

Quadro 9 – Resumo da caracterização das exigências de desempenho estabelecidas pela NBR 15.575:2013

CRITÉRIO	DESCRIÇÃO
Segurança estrutural	Os componentes e sistemas da edificação devem possuir resistência mecânica a cargas mecânicas estáticas, dinâmicas e cíclicas, individualmente e combinadas; resistência a impactos e ações acidentais; efeitos cíclicos (fadiga); para garantir que esses elementos não atinjam o estado limite último, que corresponde à ruína do elemento ou parte dele.
Segurança contra incêndio	Os componentes e subsistemas da edificação devem apresentar limitações na influência ao risco de início e propagação do fogo. A edificação deve possuir elementos de segurança para casos de incêndios, tais como sistemas de alarme e extinção de focos de fogo, bem como possibilitar evacuações em tempos eficientes e redução de efeitos fisiológicos causados pela fumaça e calor.
Segurança no uso e na operação	A edificação deve apresentar segurança no uso e operação dos equipamentos, bem como segurança contra intrusões (pessoas e animais) nas áreas comuns e de movimentação/circulação, assim como, contra agentes agressivos (proteção contra queimadura e pontos e bordas cortantes).
Estanqueidade	Cuidados com a estanqueidade dos ambientes, subsistemas e componentes da edificação em relação a elementos líquidos, sólidos e gasosos, tais como água de chuva, solo, fumaça e poeira.
Saúde, higiene e qualidade do ar	Cuidados com a higiene pessoal e dos ambientes, abastecimento de água e remoção de resíduos, limitações na emissão dos contaminantes. Os ambientes devem possuir ventilação adequada e controle de odores, além de cuidados com a pureza do ar.
Desempenho térmico	Refere-se às limitações das propriedades térmicas do edifício, seus componentes e subsistemas, possibilitando o controle da temperatura e da umidade relativa do ar e das superfícies; controle da velocidade do ar, da radiação térmica e de condensações.
Desempenho lumínico	Refere-se à iluminação natural e artificial, insolação, possibilidade de escurecimento, aspecto dos espaços e das superfícies, acabamentos e contato visual interna e externamente, vista para o exterior.
Desempenho acústico	Cuidados relativos ao isolamento acústico e níveis de ruídos dos ambientes; isolamento de componentes e subsistemas geradores de ruídos; tempo de reverberação de ruídos. controle de ruídos provenientes do exterior da edificação e de ambientes adjacentes.
Conforto tátil e antropodinâmico	As superfícies devem ser cuidadas para apresentar propriedades adequadas quanto à rugosidade, umidade, temperatura, eliminação ou redução de cargas de eletricidade estática. O conforto antropodinâmico refere-se a cuidados quanto à ergonomia, limitações de vibrações e acelerações, esforços de manobra e movimentações de todo o tipo, além do conforto para transeuntes em áreas de vento.
Funcionalidade e acessibilidade	Tamanho, quantidade, geometria e relação entre espaços e equipamentos, previsão de serviços e de condições específicas de utilização (portadores de necessidades especiais, por exemplo), flexibilidade.
Manutenibilidade	Preocupações com os custos iniciais, de operação, custos de manutenção e reposição durante o uso, custos de demolição.
Durabilidade	Conservação das características da edificação ao longo de sua vida útil; limitações relativas ao desgaste e deterioração de materiais, equipamentos e subsistemas.
Adequação ambiental	O empreendimento e sua infraestrutura (arruamento, drenagem, rede de água, gás, esgoto, telefonia, energia) devem ser projetados, construídos e mantidos de forma a minimizar as alterações no ambiente.

Fonte: elaborado a partir da NBR 15.575: 2013 (ASSOCIAÇÃO...,2013).

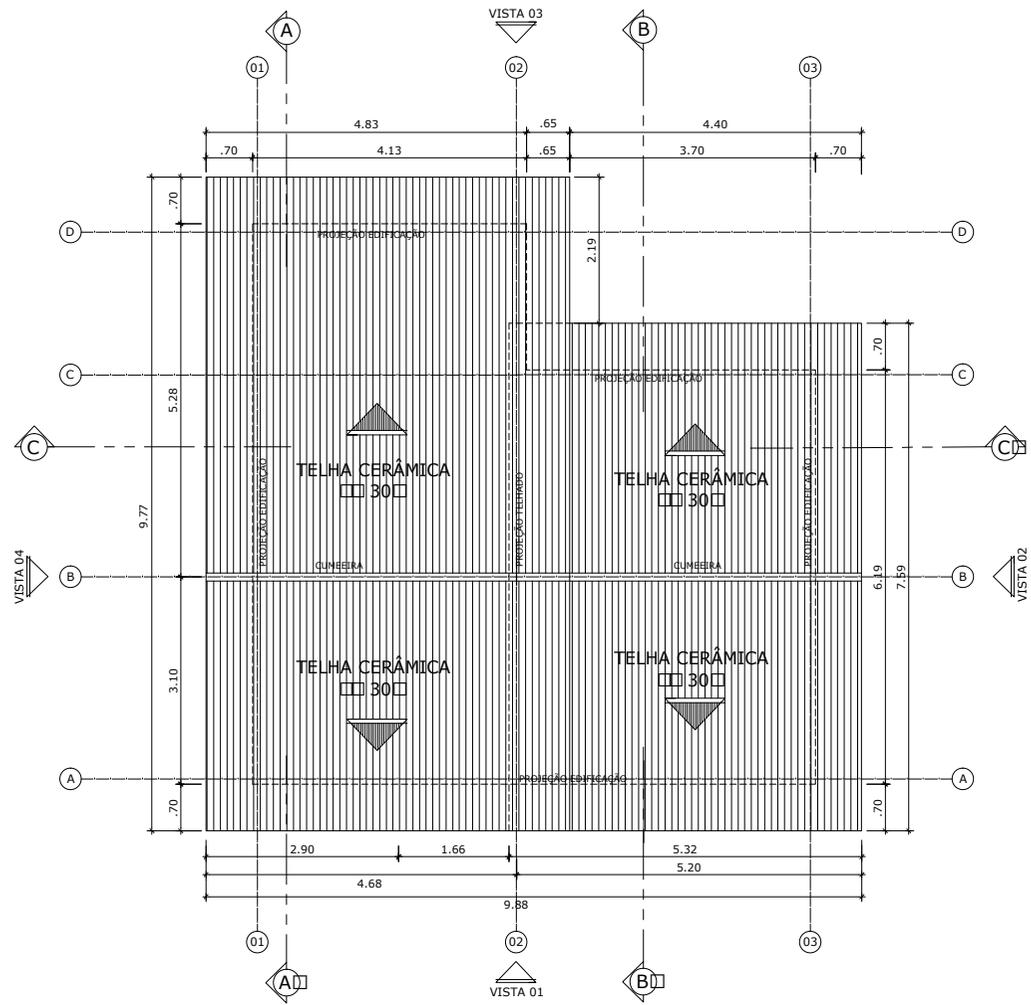


LEGENDA PILARES			
SEÇÃO DA PEÇA	DIÂMETRO (m)	PERFIL	QUANTIDADE
	0,25	ROLIÇO	2
	0,25	ROLIÇO 1 FACE	1
	0,25	ROLIÇO 2 FACES PARALELAS	1
	0,25	ROLIÇO 2 FACES PERPENDICULARES	5
	0,25	ROLIÇO 3 FACES	8
	0,12	ROLIÇO 4 FACES	14

The diagram below the table illustrates the cross-sections of the columns. It shows six circles, each with a diameter of 0.25m, and one square with a side length of 0.12m. The circles are shown with different hatching patterns to represent the '1 face', '2 faces paralelas', '2 faces perpendiculares', and '3 faces' profiles. The square is shown with hatching to represent the '4 faces' profile.

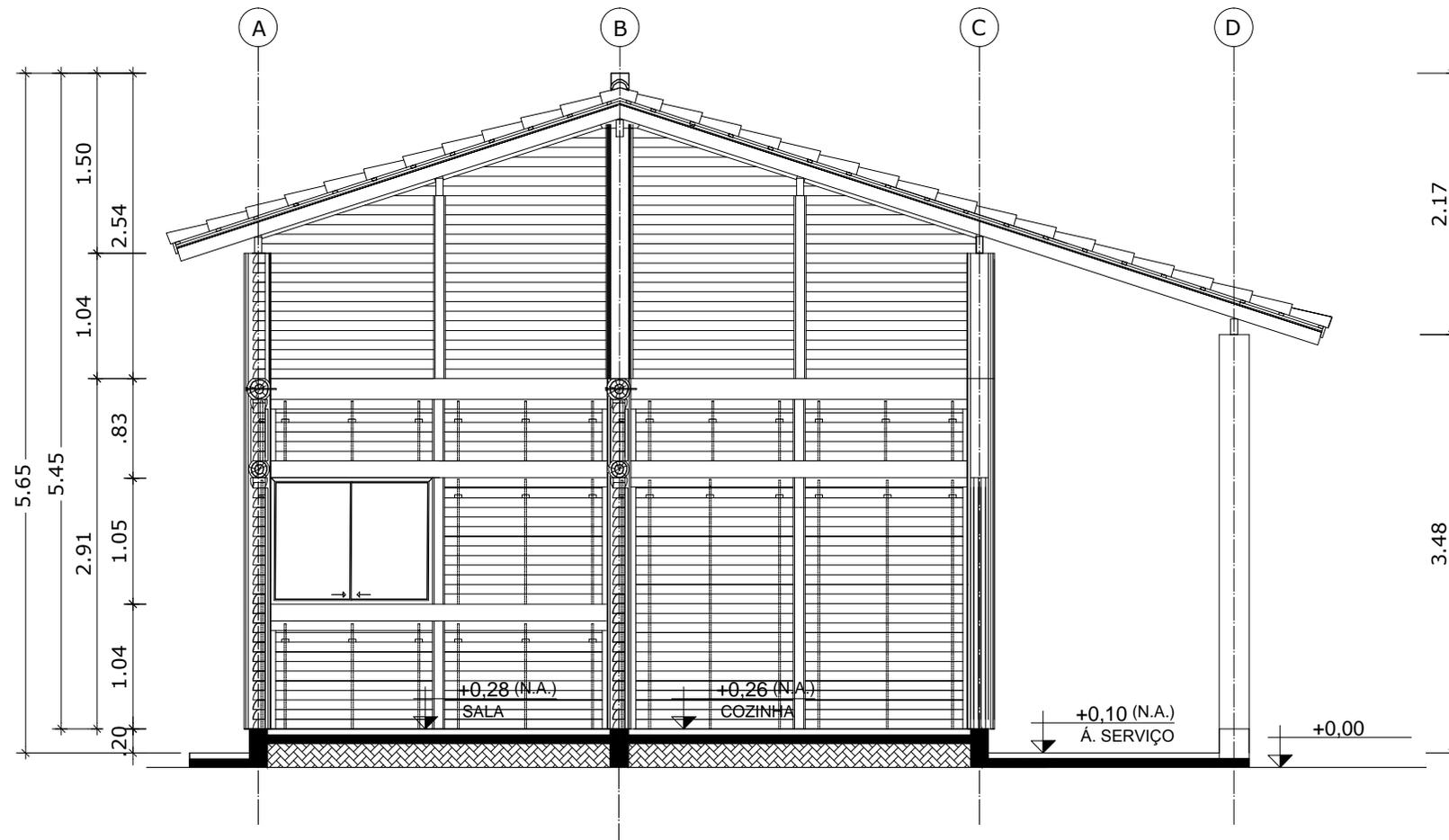
PROJETO ARQUITETÔNICO

PLANTA BAIXA - LOCAÇÃO PILARES, ESC: 1/100



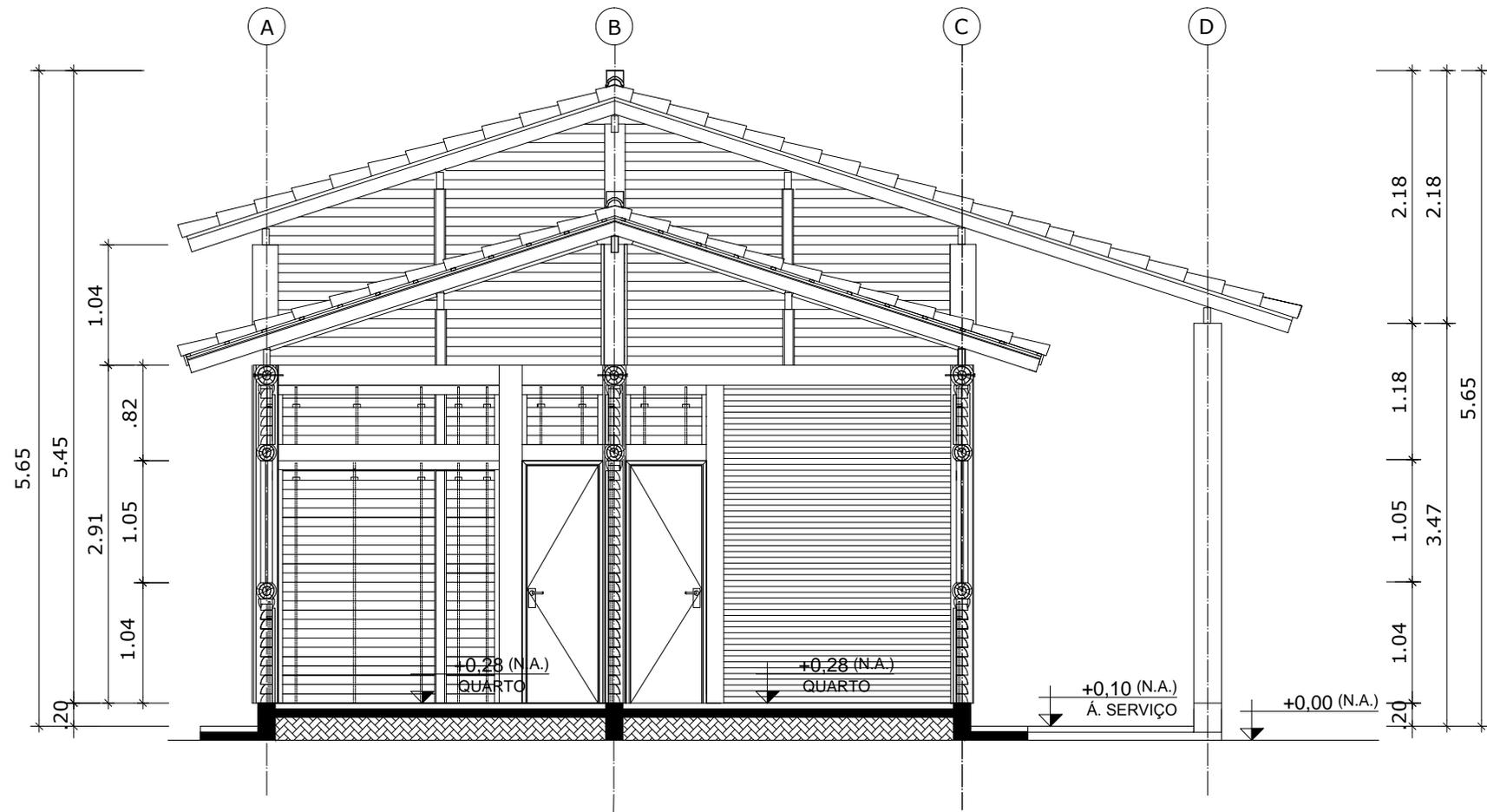
PROJETO ARQUITETÔNICO

PLANTA DE COBERTURA, ESC: 1/100



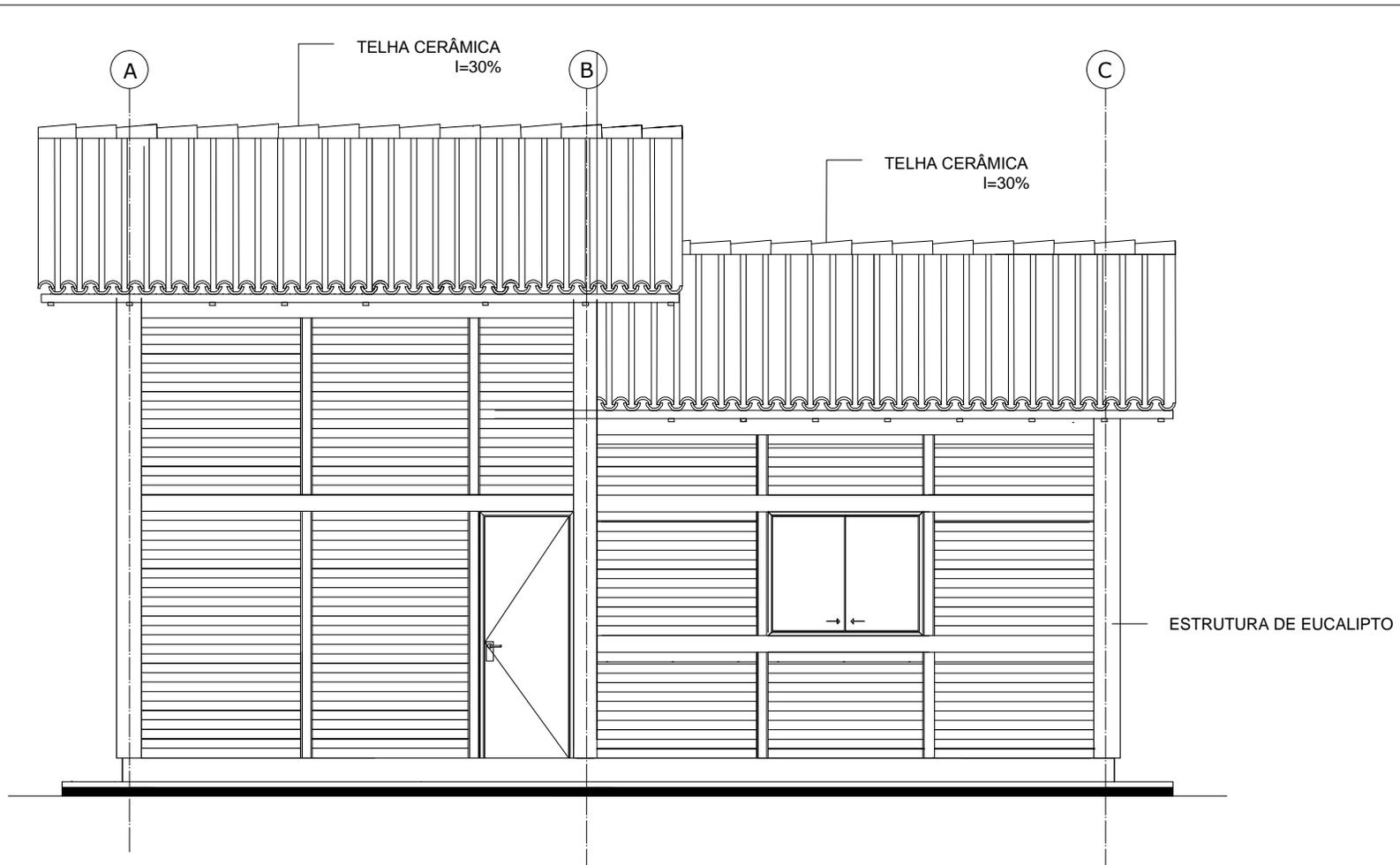
PROJETO ARQUITETÔNICO

CORTE AA, ESC: 1/50



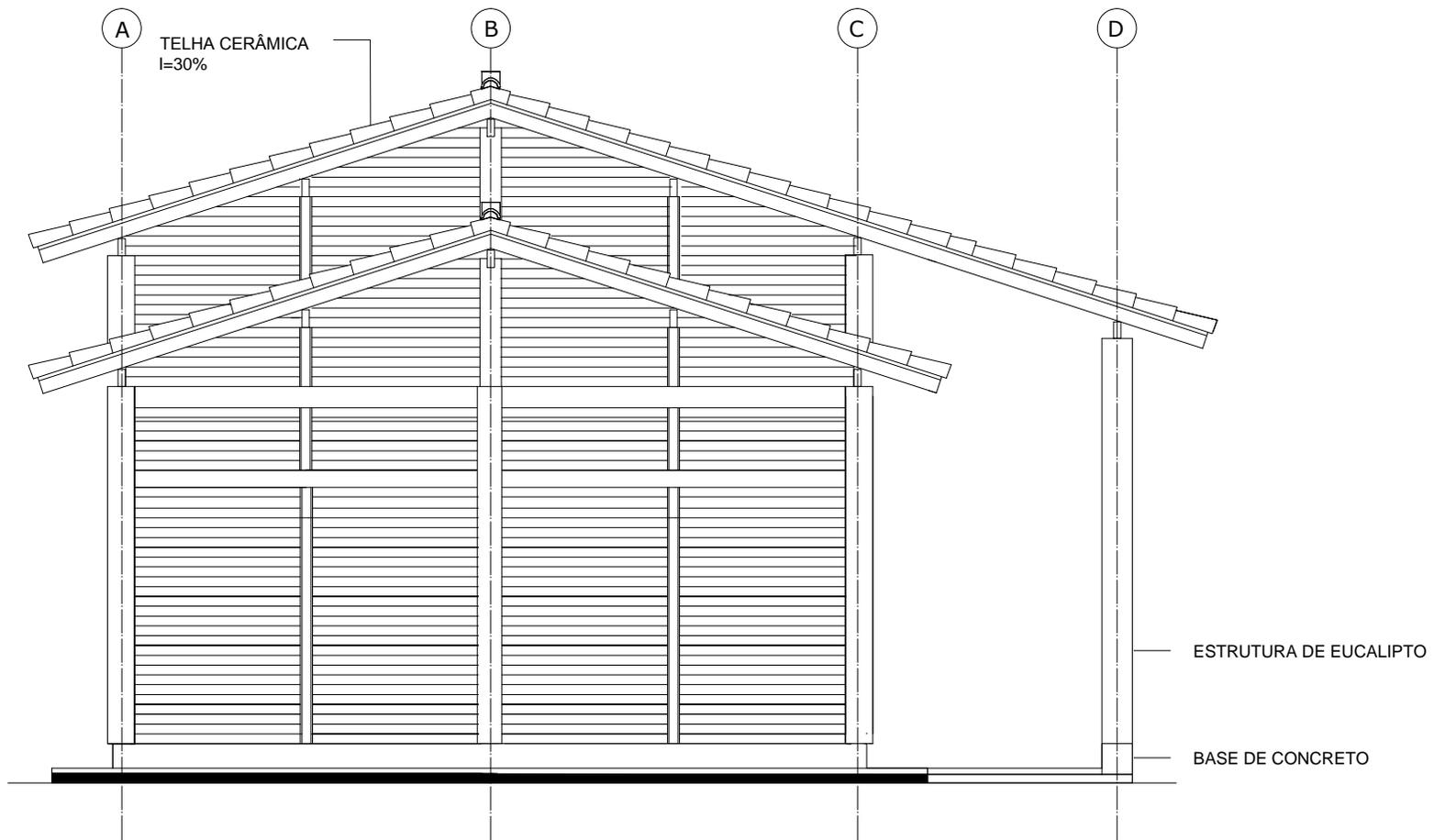
PROJETO ARQUITETÔNICO

CORTE BB, ESC: 1/50



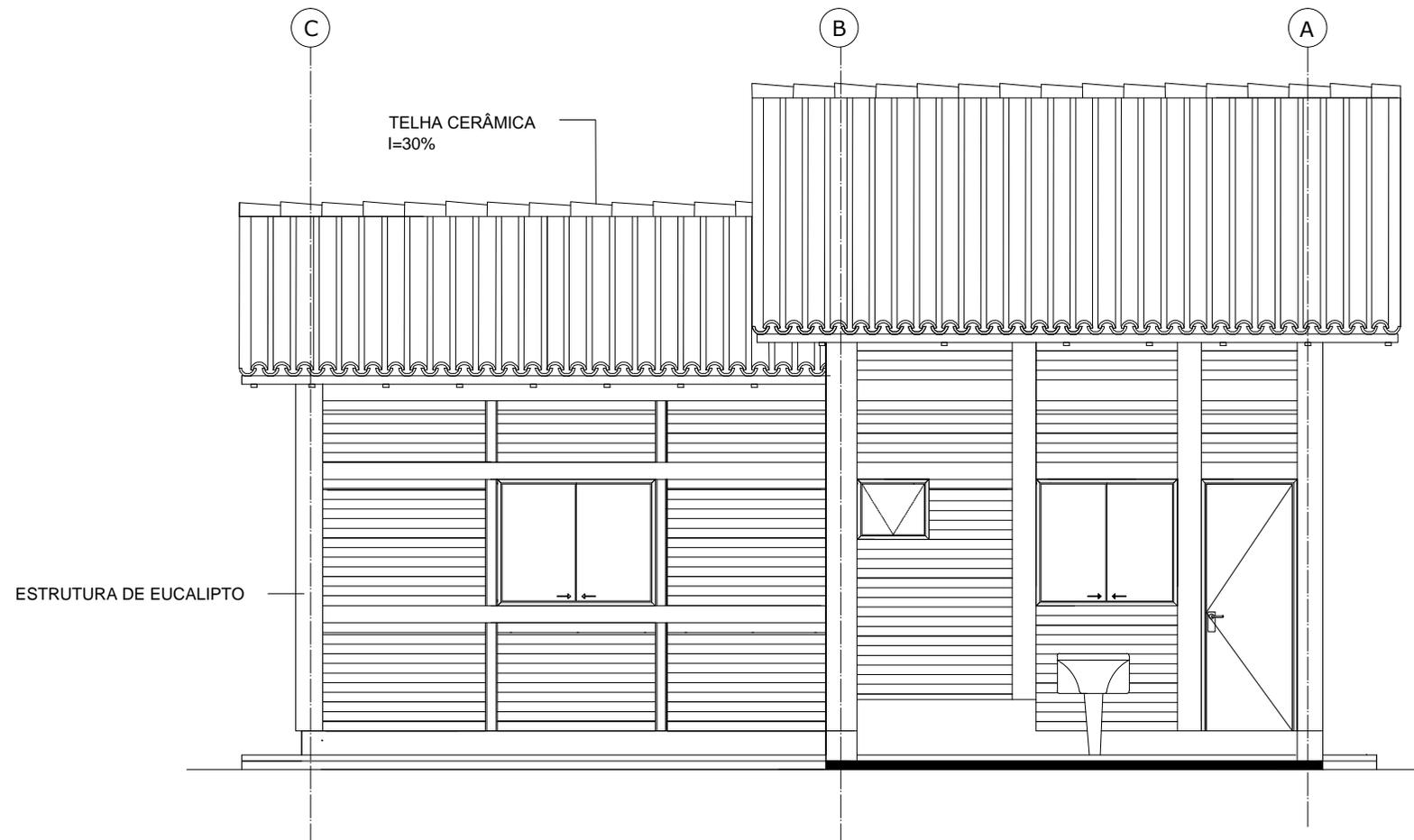
PROJETO ARQUITETÔNICO

VISTA 01, ESC: 1/50



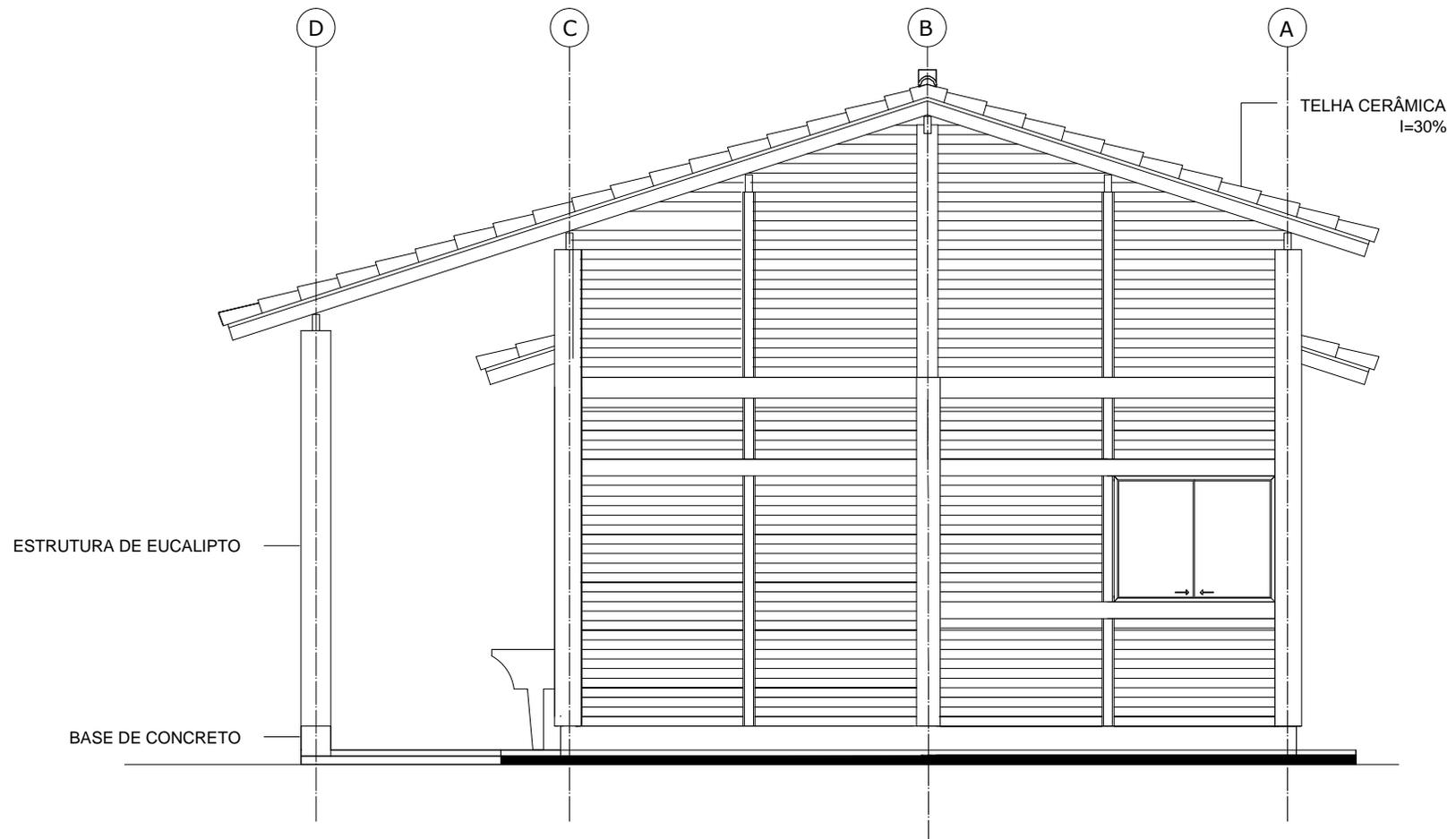
PROJETO ARQUITETÔNICO

VISTA 02, ESC: 1/50



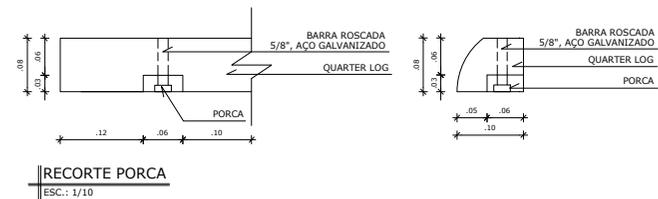
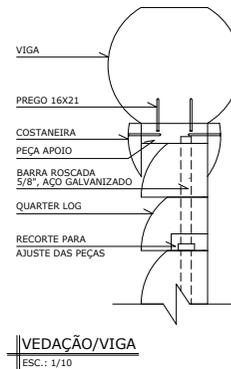
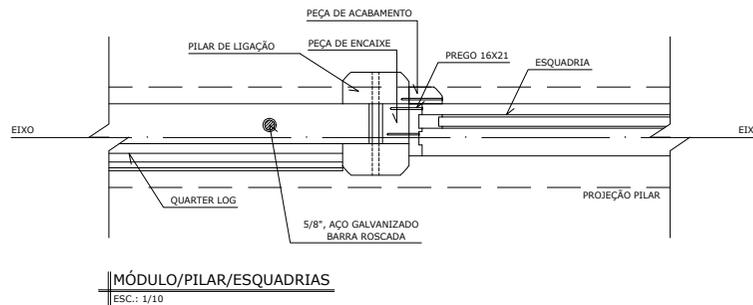
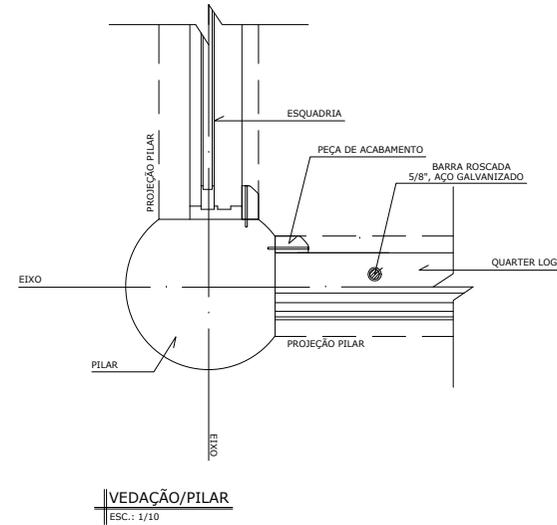
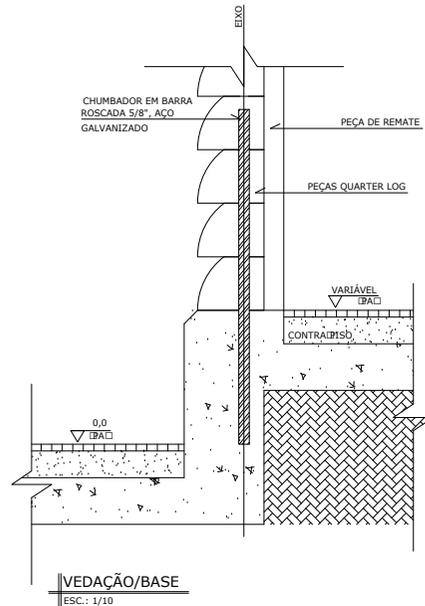
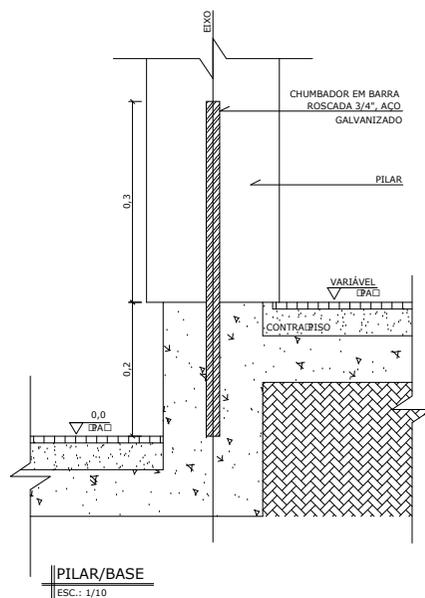
PROJETO ARQUITETÔNICO

VISTA 03, ESC: 1/50



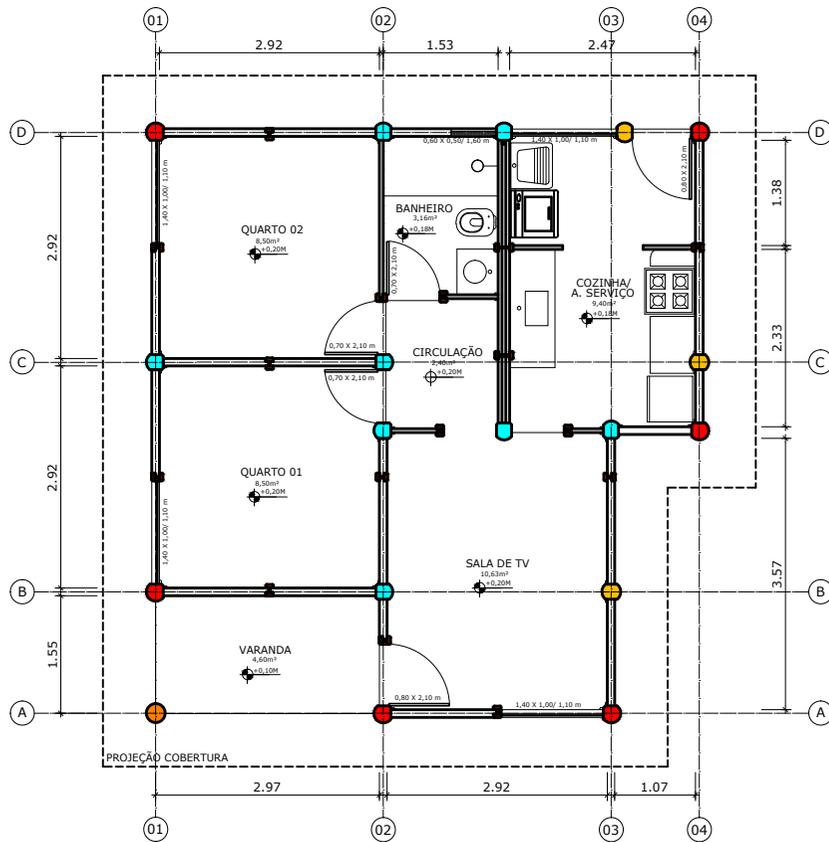
PROJETO ARQUITETÔNICO

VISTA 04, ESC: 1/50



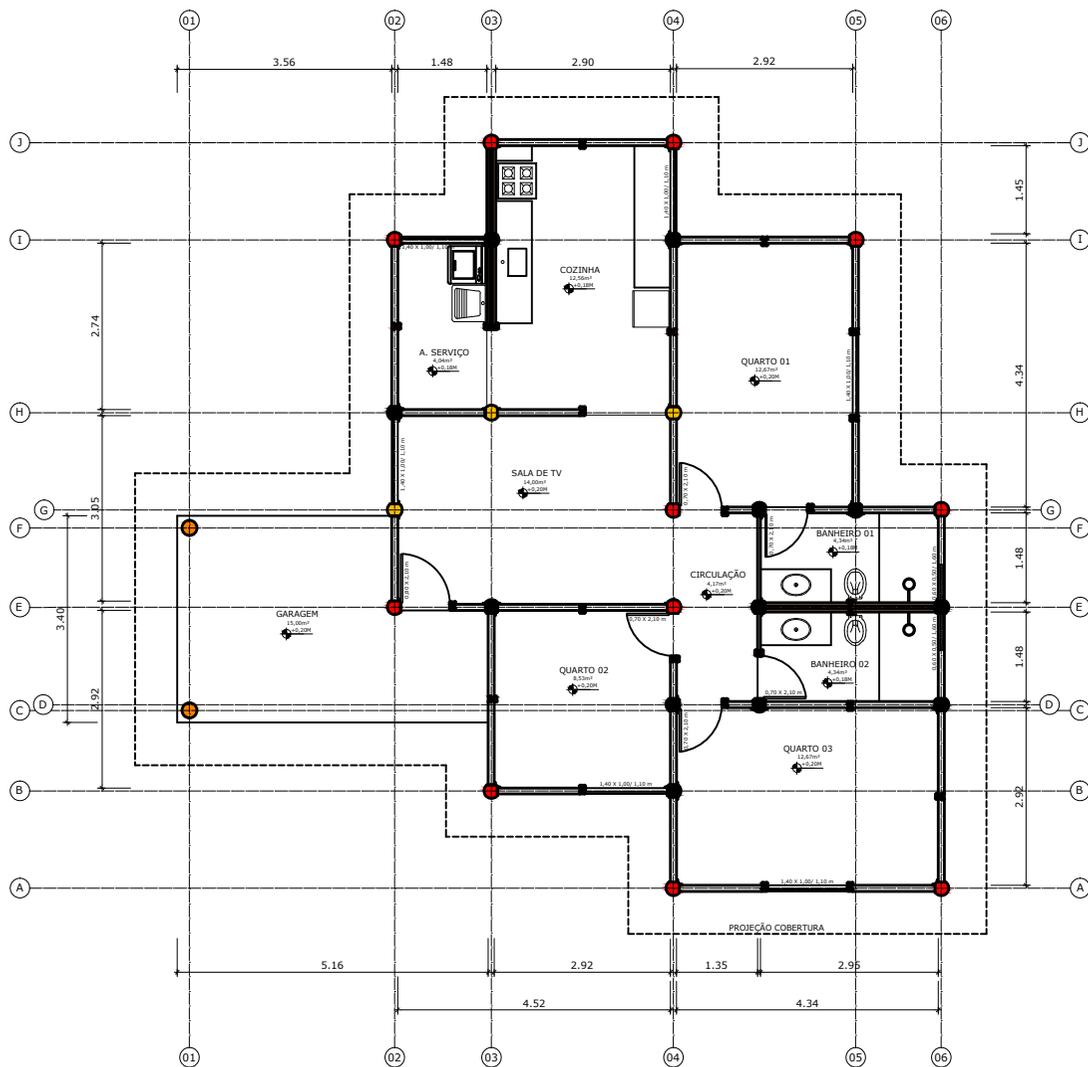
PROJETO ARQUITETÔNICO

DETALHES, ESC: 1/10

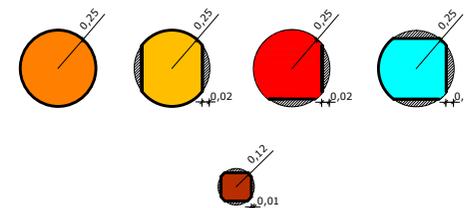


LEGENDA PILARES			
SEÇÃO DA PEÇA	DIÂMETRO (m)	PERFIL	QUANTIDADE
	0,25	ROLIÇO	1
	0,25	ROLIÇO 2 FACES PARALELAS	3
	0,25	ROLIÇO 2 FACES PERPENDICULARES	6
	0,25	ROLIÇO 3 FACES	8
	0,12	ROLIÇO 4 FACES	16

Detailed diagrams of the pillar sections showing their diameters and specific profiles: a circle (0.25m), a hexagon (0.25m), a circle with a square cutout (0.25m), a square with a circle cutout (0.25m), and a square (0.12m).



LEGENDA PILARES			
SEÇÃO DA PEÇA	DIÂMETRO (m)	PERFIL	QUANTIDADE
	0,25	ROLIÇO	2
	0,25	ROLIÇO 2 FACES PARALELAS	3
	0,25	ROLIÇO 2 FACES PERPENDICULARES	11
	0,25	ROLIÇO 3 FACES	11
	0,12	ROLIÇO 4 FACES	22



EXEMPLO B
 PLANTA BAIXA, ESC: 1/125
 AREA: 100m²