

CARLOS ADALBERTO ESTUQUI FILHO

Mestrado em Arquitetura

**A DURABILIDADE DA MADEIRA NA ARQUITETURA SOB A
AÇÃO DOS FATORES NATURAIS:
ESTUDO DE CASOS EM BRASÍLIA**

**BRASÍLIA – DF
2006**

**Universidade de Brasília
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós Graduação da FAU
Mestrado em Arquitetura e Urbanismo**

**A DURABILIDADE DA MADEIRA NA ARQUITETURA SOB A
AÇÃO DOS FATORES NATURAIS:
ESTUDO DE CASOS EM BRASÍLIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura.

Orientador: Professor Doutor Jaime Gonçalves de Almeida.

Carlos Adalberto Estuqui Filho

**BRASÍLIA – DF
2006**

RESUMO

Essa dissertação é um estudo específico sobre a durabilidade da madeira em projetos de arquitetura. Os projetos arquitetônicos normalmente contemplam os melhores valores estéticos e muitas vezes até sugerem um avanço tecnológico para sistemas construtivos. Estas vantagens são constantes, em detrimento das soluções do problema de preservação da madeira utilizada nas construções. Neste caso, o que se pretende estudar são as implicações relativas ao uso dos materiais naturais e o saber de que forma o projeto de arquitetura pode contribuir para a solução daqueles problemas. O objetivo desta pesquisa visa contribuir para efetivar o uso da madeira enfocando soluções de projeto. Em resumo este trabalho procura evidenciar a importância do projeto arquitetônico na aplicação adequada dos materiais, examinando construções em madeira com o fim de maximizar a sua durabilidade e minimizando os efeitos dos fatores ambientais. Neste sentido, esta dissertação procura destacar as relações entre a concepção do projeto o seu detalhamento apropriado e a aplicação de materiais conforme os efeitos dos agentes naturais. O fundamental da pesquisa é evidenciar a importância do projeto arquitetônico na aplicação adequada da madeira, ressaltando as vantagens ambientais e sociais deste recurso, devido ao seu caráter renovável e ao seu alto potencial de produção na maior parte do território nacional.

ABSTRACT

This essay represents a specific study about the durability of wood in architecture projects. The architectural projects generally contemplate the best esthetic values and most of the times they can even suggest technological improvements for constructive systems. These profits are constant and bring great damage to the attempts of solving the problem of preservation of wood used in constructions. In this case, the main target of this study is the implications related to the usage of natural materials and finding out how an architecture project can contribute to these most important problems. This research is aimed at contributing towards the accomplishment of the usage of wood focused on project solutions. To sum up, this essay aims at stressing the importance of an architectural project for the appropriate application of the nature, examining wood constructions in order to improve its durability and reducing the environment effects. Thus this is an essay which tries to present the relations between conception of a carefully detailed project and the material applications in accordance with the natural agents. The main point is point out the importance of the architectural project for wood usage and its countless social and environmental advantages of the resource due to its renewing feature and high potential production in most of the country.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS.....	VII
LISTA DE QUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
INTRODUÇÃO	12
1 ASPECTOS CONCEITUAIS HISTÓRICOS, CULTURAIS SOCIOECONÔMICO E TECNOLÓGICOS SOBRE O USO DA MADEIRA NA ARQUITETURA	20
1.1 O Caráter Renovável da Madeira como Recurso Natural	20
1.2 Aspectos Anatômicos e a Durabilidade da Madeira	24
1.3 Aspectos Históricos e Culturais e Tecnológicos nas Práticas Tradicionais	26
1.3.1 Edificações primitivas (Nova Guiné).....	28
1.3.2 Edificações primitivas (China)	29
1.3.3 Edificações de palafitas (Brasil).....	31
1.3.4 Edificações de troncos (Romênia)	32
1.3.5 Edificações de troncos (Noruega)	34
1.3.6 Edificações de Toroja (Indonésia)	36
1.3.7 Casas coloniais (Japão).....	38
1.3.8 Construções vernaculares (Camerum)	39
1.3.9 Construções vernaculares coletivas (Nova Guiné).....	40
1.3.10 Edificações da Idade Média (Inglaterra)	41
1.4 Aspectos Tecnológicos da Madeira.....	42
1.5 Aspectos Socioeconômicos do Setor Madeireiro no Brasil.....	46
1.6 Aspectos Tecnológicos Atuais do Uso da Madeira	48
1.6.1 Considerações sobre a madeira maciça	48
1.6.2 Considerações sobre a madeira laminada colada	51
1.7 Sobre o Projeto, o Uso da Madeira e os Problemas Mais Frequentes.....	53
2 METODOLOGIA E ELEMENTOS DE ANÁLISE – ESTUDO DE CASOS.....	59
2.1 Processo de Análise – Variáveis de Análise, os Parâmetros e as Metodologias das Propostas	59

2.2 Descrição das Principais Características das Espécies Existentes nos Casos Estudados	65
2.3 Apresentação dos Edifícios.....	69
2.3.1 Prédio do OCA II – Comentários históricos, considerações gerais e ficha técnica	70
2.3.2 Prédio do Clube Naval – Considerações sobre o projeto e ficha técnica	77
2.3.3 Prédio do Orquidário – Considerações gerais e ficha técnica	82
2.3.4 Prédio da casa pré-fabricada – Considerações gerais e ficha técnica.....	85
2.4 Análise e Apresentação de Resultados	89
2.4.1 Dados de análise do prédio do OCA II	89
2.4.1.1 Conclusão dos dados de análise do prédio do OCA II e proposta de solução dos problemas.	94
2.4.2 Dados de análise do prédio do Clube Naval	96
2.4.2.1 Conclusão dos dados de análise do prédio do Clube Naval e propostas de solução dos problemas	101
2.4.3 Dados de análise do prédio do Orquidário.....	104
2.4.3.1 Conclusão dos dados de análise do prédio do Orquidário do IBAMA e proposta para solução dos problemas.....	108
2.4.4 Dados de análise do prédio da casa pré-fabricada.....	109
2.4.4.1 Conclusão dos dados de análise do prédio da casa pré-fabricada e proposta de solução dos problemas	113
2.4.5 Análise das quatro edificações.....	114
3 PROPOSTA DE CORREÇÃO DE DETALHES DOS EDIFÍCIOS ANALISADOS – DETALHES GERAIS E PRINCÍPIOS.....	118
3.1 OCA II.....	118
3.2 Clube Naval.....	122
3.3 Orquidário	125
3.4 Casa Pré-Fabricada.....	126
3.5 Propostas de Detalhes Gerais	128
3.6 Princípios para o Projeto de Arquitetura de Edificação em Madeira Visando a Durabilidade	134
3.6.1 A implantação da obra	134
3.6.2 A edificação	134

3.6.3 Os materiais.....	137
3.6.4 Premissas dos projetos em madeira para proteção contra incêndio.....	138
CONCLUSÃO GERAL	140
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144

LISTA DE SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
CANTOAR	– Canteiro Oficina de Arquitetura
CCA	– Cromo, cobre e arseniato
CEDOC	– Centro de Documentação da UnB
CERFLOR	– Certificação Florestal
DAM	– Laboratório de Estudos sobre a Madeira
DF	– Distrito Federal
DRAEP	– Divisão Regional de Aprovação e Execução de Projetos
EUA	– Estados Unidos da América
FSC	– Forest Stewardship Concil (Conselho de Administração Florestal)
FAU	– Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
GJ	– Giga Joule
IBAMA	– Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Inpe	– Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	– Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LaMEM	– Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras
NBR	– Normas Técnicas Brasileiras
PIB	– Produto Interno Bruto
Prodes	– Programa de Monitoramento do Desmatamento em Formações Florestais na Amazônia Legal
PSF	– Ponto de Saturação das Fibras
UnB	– Universidade de Brasília

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise do prédio do OCA II.....	89
Quadro 2 – Análise do prédio do Clube Naval.....	96
Quadro 3 – Análise do prédio do Orquidário	104
Quadro 4 – Análise do prédio da casa pré-fabricada.....	109

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de construção primitiva	29
Figura 2 – Antigas casas chinesas	30
Figura 3 – Antigas casas Chinesas	30
Figura 4 – Detalhe construtivo	30
Figura 5 – Casas de palafitas da Amazônia.....	32
Figura 6 – Casa de troncos da Romênia	33
Figura 7 – Edificações de troncos dos fiordes da Noruega	35
Figura 8 – Casas de Toroja (conjunto)	37
Figura 9 – Casas de Toroja.....	37
Figura 10 – Edificação de estilo colonial do Japão	38
Figura 11– Ventilação nas antigas casas japonesas.....	39
Figura 12 – Edificações do Camerum – Africa	40
Figura 13 – Templo e Centro Comunitário na Nova Guiné	40
Figura 14 – Edificações Inglesas	42
Figura 15 – Localização do prédio do OCA II em Brasília.....	71
Figura 16 – Situação do OCA II dentro da área do Campus da UnB.....	71
Figura 17 – Implantação do OCA II no Campus da UnB	72
Figura 18 – Plantas simplificadas do projeto arquitetônico do OCA II (situação atual).....	73
Figura 19 – Corte simplificado do projeto arquitetônico	74
Figura 20 – Perspectiva geral do OCA II	75
Figura 21 – Projeto para os alojamentos	75
Figura 22 – Localização do prédio do Clube Naval de Brasília.....	78
Figura 23 – Implantação (Setor de Clubes Sul).....	78
Figura 24 – Planta baixa simplificada do projeto arquitetônico	80
Figura 25 – Corte simplificado do projeto arquitetônico	81
Figura 26 – Localização do prédio do Orquidário.....	83
Figura 27 – Implantação (Sede do IBAMA)	83
Figura 28 – Plantas simplificada do projeto arquitetônico	84
Figura 29 – Corte simplificado do projeto arquitetônico do Orquidário.....	85
Figura 30 – Implantação da casa pré-fabricada.....	86

Figura 31 – Planta baixa do projeto arquitetônico simplificado.....	87
Figura 32 – Elevações da casa pré-fabricada de madeira.....	88
Figura 33 – Eletricidade sem manutenção.....	89
Figura 34 – Vista da fachada	90
Figura 35 – Desgaste da base do pilar devido à umidade.....	90
Figura 36 – Apodrecimento da tábu de beira (vista interna)	90
Figura 37 – Gretas e fendas	91
Figura 38 – Deterioração pronunciada	91
Figura 39 – Apodrecimento da extremidade das vigas (vista externa).....	91
Figura 40 – Ataque de fungos apodrecedores e emboloradores.....	92
Figura 41 – Entrada principal	96
Figura 42 – Sistema estrutural.....	97
Figura 43 – Pilar do lado direito da entrada principal	97
Figura 44 – Pilar do lado esquerdo da entrada principal	97
Figura 45 – Ligações com o piso.....	98
Figura 46 – Ligações com o piso.....	98
Figura 47 – Passarela.....	98
Figura 48 – Sistema estrutural	99
Figura 49 – Pilares da passarela (distanciados do piso)	99
Figura 50 – Pilares da passarela (distanciamento curto)	99
Figura 51 – Ação da chuva em vigas.....	100
Figura 52 – Ação do sol em vigas	100
Figura 53 – Vista frontal.....	104
Figura 54 – Sistema de vigamentos para os grandes vãos.....	105
Figura 55 – Pilar protegido da umidade	105
Figura 56 – Vista geral interna	105
Figura 57 – Retração transversal	106
Figura 58 – Pilar recebendo umidade	106
Figura 59 – Vista geral	110
Figura 60 – Efeitos do sol.....	110
Figura 61 – Madeira da parede deteriorada na base	110
Figura 62 – Retração transversal das peças provocando abertura nas paredes.	111
Figura 63 – Umidade no pilar e proposta de peça metálica.....	119

Figura 64 – Água nas empenas e deterioração da tabeira.....	120
Figura 65 – Apodrecimento da longarina da escada externa e do piso da varanda.....	121
Figura 66 – Deterioração da extremidade da viga na varanda posterior	122
Figura 67 – Pilar sujeito à umidade e proposta de apoio metálico	123
Figura 68 –Deterioração da extremidade da viga.....	124
Figura 69 – Retração transversal	125
Figura 70 – Retração das paredes e apodrecimento das peças da base	127
Figura 71 – Corte demonstrativo com detalhes estruturais (geral).....	128
Figura 72 – Corte demonstrativo com detalhes estruturais (parcial nº 2).....	129
Figura 73 – (a) Detalhes para pisos de áreas molhadas e (b) Longarina de ponte de madeira.....	129
Figura 74 – (a) Detalhes para pisos de áreas molhadas e (b) Ponte de madeira (longarina e guarda corpo)	130
Figura 75 – (a) Barreira contra cupins e (b) fachadas (paredes externas) em tábuas	131
Figura 76 – Reparação de gretas.....	132
Figura 77 – Barreiras contra o fogo.....	133

INTRODUÇÃO

A arquitetura, e conseqüentemente a construção de edificações, cada vez mais têm um papel importante na sustentabilidade ambiental do planeta, tanto no que toca à natureza dos recursos e materiais empregados, como nas formas de ocupação do espaço. Critérios cada vez mais exigentes são necessários para garantir o manejo e uso sustentável dos recursos naturais e dos materiais resultantes. Com relação aos materiais usados nas construções existe interesse e obviamente uma busca por soluções menos impactantes sob o ponto de vista ambiental.

Afirma Moretti (2005, p.44-47):

No caso brasileiro o consumo médio de cimento de cada indivíduo é de cerca de 250 kg por ano. Pedra britada e areia, também produtos não renováveis, são adicionadas ao cimento em proporções que variam de três a dez partes do total. Ou seja, pode-se estimar que o consumo de matérias não renováveis é da ordem de 2.000kg por indivíduo, cada ano, somente no setor da construção civil [...].

As pesquisas para o emprego dos materiais recicláveis e renováveis se direcionam no sentido de esclarecer qual a melhor forma e como sanar os principais problemas relacionados ao manejo para manter, dessa forma, mais sustentável o meio ambiente e possibilitar a construção de espaços arquitetônicos em diferentes situações naturais e sociais.

Verifica-se que, mesmo com esse amplo universo de possibilidades e diversidade de materiais de origem orgânica, as pesquisas são reduzidas no Brasil, constatando-se iniciativas quase isoladas e espalhadas em algumas partes do País.

No IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, os estudos são bastante abrangentes, objetivando o caso da madeira em todo o seu manejo sustentável, tanto sobre o ponto de vista da madeira nativa e plantada quanto da madeira plantada e certificada. Ao pesquisar questões como o plantio, a extração, a secagem, os agentes biológicos destruidores, os preservativos e sua aplicação colaboram para a melhor qualidade deste importante produto florestal para quem pretende trabalhar com madeira.

O CANTOAR da UnB, junto com a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, desenvolvem pesquisas aplicadas sobre materiais de origem orgânica, incluindo estudos e pesquisas combinando bambu e madeira. A Universidade de Marília desenvolve pesquisas sobre projetos em estruturas de madeiras nos diversos sistemas construtivos. As pesquisas enfocam o resgate de sistemas construtíveis comuns em outros países os quais já foram executados no Brasil, mas que, todavia, não são difundidos. Essa Universidade também publica reportagens inéditas sobre questões inovadoras acerca da madeira por meio da revista “Madeira Arquitetura e Engenharia”.

A Universidade de São Carlos possui o LaMEM – Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras, que desenvolve pesquisas em nível de pós-graduação em estruturas de madeiras, a qual prevê a utilização de materiais alternativos, como rejeitos de madeira e de casas populares de baixo custo em assentamentos rurais.

A Universidade Federal de Santa Catarina, junto com o Departamento de Engenharia, desenvolvem pesquisas sobre estruturas combinadas de madeira e concreto e madeira e aço. Na Universidade de Santa Catarina existe uma plataforma de reações de esforços, na qual são estudadas situações reais de esforços em estruturas de madeiras em verdadeira escala. O IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, desenvolve pesquisas sobre sistemas construtivos e habitações de interesse social com madeira de reflorestamento, além de diversos temas técnicos sobre o trato da madeira relacionados ao risco de incêndio e às suas propriedades físicas.

Em países como o Canadá, EUA, Suíça e Japão existe um maior número de pesquisas; em consequência disso, os sistemas construtivos têm possibilidades de se tornar bastante evoluídos. No Brasil, o consumo da madeira é bem significativo, mas é considerado um país madeireiro, principalmente por ser grande fornecedor dessa matéria-prima. O consumo *per capita* de madeira serrada tem um percentual próximo ao do Canadá e ao da França. No Brasil, consome-se 0,116 m³/habitante; na França, o consumo é de 0,188 m³/habitante, e no Japão é de 0,276 m³/habitante (FREITAS, 1989, p. 18). No entanto, essa cifra é apenas quantitativa, porque no Brasil a madeira é mais utilizada como material de categoria inferior. A sua aplicação está mais dirigida principalmente a construções provisórias, havendo bastante rejeição para obras significativas e isso, de certa forma, acarreta uma falta de desenvolvimento tecnológico no setor.

O próprio nome Brasil é originário de uma espécie de madeira, o pau brasil (*Caesalpinia echinata*), que fez parte do primeiro ciclo econômico extrativo no século XVI. A madeira, como material mais importante e de uso mais intenso no sul do Brasil, teve um influxo significativo dos imigrantes poloneses e alemães, povos que habitualmente fizeram construções com madeira. O fato de a colonização ter sido basicamente realizada por povos do mediterrâneo, como portugueses, italianos e espanhóis, determinou que foram implantadas as técnicas de alvenaria e pedras trazidas por eles. Adicionalmente, as construções de adobe e de taipa, de influência africana, foram trazidas pelos escravos.

Observa-se, mesmo nos lugares onde o uso é mais comum, uma certa resistência na sua aplicação, principalmente pelo fato de se alegar que a madeira é frágil e que tem pouca durabilidade. Mas existem propriedades na madeira que possibilita certas variações para um mesmo projeto. Dentro de uma mesma condição ambiental, com uma espécie pouco resistente, é preciso ter a seção maior para se conseguir boa resistência em relação a uma espécie mais resistente, onde se pode obter uma boa resistência mesmo com seções pequenas. Embora exista um alto desenvolvimento tecnológico alcançado em nível de projeto, constata-se, no entanto, que são notáveis os avanços na busca de uma melhor operacionalização em termos do sistema construtivo e da mão-de-obra, bem como nos requisitos de manejo florestal, para viabilizar a sustentabilidade ambiental da tecnologia da madeira.

Os problemas que levam àquela resistência quanto ao uso da madeira podem ser solucionados por técnicas apropriadas de fácil operacionalização e aplicação. Sabe-se que é possível variar as espécies e a seção da madeira, conforme o seu uso, para se obter uma melhor adaptação e resultados com relação à resistência, à função e à durabilidade, incluindo a aplicação do material, tendo como pano de fundo as soluções de projetos em fase do clima especificamente de Brasília. Dentro de uma mesma condição ambiental, com uma espécie pouco resistente para se obter uma boa durabilidade deve-se usar uma seção maior, ou com uma espécie mais resistente se pode obter uma boa durabilidade com uma seção menor. As soluções adotadas para resolver o problema da durabilidade, a qual envolve a utilização de preservativos químicos, não serão levadas em conta nesta pesquisa, por serem produtos poluidores e que fazem mal à saúde dos usuários.

Com essa perspectiva, busca-se contribuir na aplicação dos conhecimentos no campo do emprego de materiais orgânicos, inclusive porque se verifica, nos últimos

tempos, uma enorme desproporção entre as pesquisas sobre materiais de construção, como ferro e concreto, que evoluíram muito em relação à madeira. Dessa forma, aprofundou-se de forma intensa o nível de desenvolvimento das técnicas construtivas alcançadas com o ferro e o concreto em relação à aplicação da madeira.

Os principais problemas quando se trata da conservação de obras de madeira são o apodrecimento pela ação de fungos e pela ação dos agentes biológicos (insetos, coleópteros, cupins, xilófagos marinhos), as deformações excessivas, a formação de gretas devido à retração e a deterioração dos elementos de união, entre outros. Quando as normas de construção de utilização e conservação são respeitadas, as estruturas de madeira tornam-se muito resistentes e podem durar muito tempo. No entanto, se as obras são mal projetadas ou mal conservadas surgem problemas, tanto em termos de quantidade quanto de gravidade. A deterioração da madeira mal utilizada pode tornar-se tão grave em uma obra que pode não ter outra solução a não ser a troca da parte danificada. Em certos casos, pode ser uma situação muito agravante e complicada, dependendo da importância e da dimensão das partes em questão.

Apesar de existirem pesquisas sobre a madeira e outras fibras naturais, por exemplo, as pesquisas do IBAMA, da Universidade de São Carlos, da Universidade Federal de Santa Catarina, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, do CANTOAR da Universidade de Brasília, a opção por outros materiais ocorre de forma mais generalizada, principalmente devido à quase inexistência de pesquisas que tratam objetivamente de métodos para prolongar a vida útil da madeira. A grande importância da madeira como material construtivo é o fato de ter sido um suporte constante no processo evolutivo da raça humana, pois serviu para a fabricação de um grande número de objetos (utensílios domésticos, ferramentas, móveis, embarcações, veículos de transportes, além das edificações) e por apresentar comportamento e propriedades diversas submetidas às solicitações da fibra e da massa, ou lenho. Todavia, a sua origem natural, a causa de toda a sua virtude, também é a razão principal da sua fragilidade. Muitos problemas foram observados com relação à aceitação da madeira na construção, alegando-se pouca durabilidade, e são conseqüências de projetos de arquitetura e engenharia não adequados.

Com a redução do custo e o aumento da disponibilidade do concreto e do aço no mercado, esses materiais têm sido preferidos. Um dos fatores predominantes dessa

escolha, por vantagens relativas à durabilidade, é que os detalhes são padronizados sob o aspecto da montagem, não existindo o desgaste natural, como existe em relação ao concreto, por exemplo, que é um material de origem inorgânica. Com relação à madeira, que é de origem orgânica, tem-se de tomar os devidos cuidados para o seu emprego, já que ela possui muitas outras qualidades intrínsecas, por ser reciclável e renovável, fazendo-se necessário detalhes construtivos específicos. Sobre os detalhes construtivos habitualmente utilizados, não foram buscadas novas padronizações; o que se verifica é exatamente o contrário, uma repetição dos detalhes problemáticos, reforçando a idéia da não-eficiência da madeira.

A problemática básica a que está sujeita a madeira sob o aspecto da preservação é a questão do seu apodrecimento, devido à ação dos fungos e está relacionado a fenômenos climático-meteorológicos isoladamente ou em conjunto. Quando aumenta a quantidade da água, os fungos se desenvolvem rapidamente, até que o volume de água residual (umidade de equilíbrio = 20% no máximo, no caso da madeira seca ao ar livre) faz-se insuficiente e então a ação dos fungos se interrompe.

Outro problema são os ataques que a madeira padece pelas espécies danosas de insetos, como os térmites (cupins), formigas, abelhas carpinteiras, coleópteros, besouros e ainda brocas de mariposas. O ataque dos xilófagos marinhos nos portos é um problema preocupante em todas as cidades portuárias em todo o mundo.

Uma questão grave para solucionar é o problema do fogo. Um incêndio pode ter diferentes causas: instalações elétricas mal colocadas, descargas atmosféricas, proximidade de componentes construtivos da obra com locais de incidência de fogo como, por exemplo, fogão, lareira e churrasqueira. Esse tipo de fatalidade, nas obras de madeira, está geralmente relacionado ao descuido que pode acontecer em qualquer obra. Salienta-se que existem dispositivos técnicos construtivos que impedem a propagação do fogo, como películas antifogo, além de soluções de projetos para obras de madeira que permitam uma independência das partes de uma construção (muito usada nos EUA para obras em painéis de madeira).

Há ainda a falta de sensibilidade dos órgãos aprovadores de projeto, que não têm parâmetros básicos para garantir a durabilidade em seu acervo de normas de edificações, o qual deveria exigir requisitos para uma eficiente concepção de projetos e de detalhes, além da observância da aplicação da norma oficial. As pesquisas, além de serem poucas, não são

repassadas a esses órgãos afins, para que possam mais bem orientar os arquitetos e os construtores sobre os melhores procedimentos no uso da madeira.

A madeira é um recurso natural e material renovável com grandes possibilidades de utilização na construção e com diversas vantagens de ordem ambiental, social e econômica.

No Canadá, cerca de 90% da população vive em casas de madeira e a cada ano são construídas de 130 a 150 mil residências, isso demonstra a quantidade de madeira necessária para atender a toda essa demanda. O Canadá também é responsável por 40% da importação de casas pré-fabricadas pelo Japão, além de outros países como Alemanha, França, Suíça, EUA e Chile (MARTI-AGUILAR,1999).

No Brasil, usa-se madeira de forma mais generalizada apenas na Região Sul. Existe, porém, apenas uma fábrica de madeira laminada colada (sistema para usar madeiras frágeis e dar alta resistência). É reconhecida também a relevante arquitetura regional em madeira nativa do arquiteto Severiano Mario Porto, das quais projetou e construiu, na Região Norte. Notadamente podemos citar o Campus da Universidade do Amazonas e o Centro de Proteção Ambiental de Balbina. Devem ser ressaltadas também as obras em madeira, de Zanine Caldas, usadas com esmero e arte. No entanto essas experiências brasileiras são de certa forma isoladas, sem que haja a prática de um uso mais generalizado e contínuo.

Na Capital Federal, no período chuvoso, a umidade relativa varia entre 80% a 90%, e no período seco chega ao mínimo variando de 10% a 15% ; a insolação é de 300 h ao mês no período seco; e de 210 h ao mês no chuvoso. Já o índice pluviométrico é de 320mm como média mensal no período chuvoso, variando para uma média próxima de zero no período seco.. Os ventos predominantes são do leste, com alta incidência, e sudeste, com baixa incidência no período seco, e do nordeste e noroeste, com alta incidência, e do sul e do leste, com baixa incidência no período chuvoso. Verifica-se que, com relação aos dados climáticos do Instituto Brasileiro de Meteorologia, as condições sob as quais a madeira está submetida em Brasília são bastante drásticas. A madeira só se encontra em boas condições totalmente dentro da água, ou totalmente fora dela, não podendo estar submetida à insolação exagerada. Entretanto, pode receber água, mas esta deve secar rapidamente.

Verifica-se quanto à produção de projetos em madeira, um enorme acervo de pesquisas sobre vários elementos, tais como estruturas, vedações, esquadrias, madeira com

outros componentes (ferro, barro, concreto, etc.), encaixe em madeira, madeira laminada colada, madeira roliça, sobras de madeiras, uso de madeira de reflorestamento e, inclusive, sobre a questão da preservação e/ou durabilidade mediante o emprego de produtos químicos ou outros produtos hidrofugantes. Existem inúmeras pesquisas sobre o tema da preservação da madeira. Há, por exemplo, contribuição, nessa área, do Instituto Suíço de Pesquisa e Ensaio de Materiais – Dübendorf, na Suíça, que trata especificamente do projeto no aspecto da preservação. No Brasil, a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, trata da preservação da madeira para construção civil, todavia com enfoque voltado para a aplicação de produtos químicos que são agregados ao material para combater o desgaste.

Entretanto, nenhuma dessas medidas resolve com plenitude a questão da preservação a ponto de tornar a madeira competitiva em relação a outros materiais tais como o aço e o concreto. Apesar dessa situação aparentemente desalentadora para os projetistas, ainda há motivação para que sejam geradas inúmeras possibilidades de alternativas de aplicação da madeira sob o ponto de vista das soluções arquitetônicas que poderão colocá-la em um patamar de igualdade quando vencidos os obstáculos relativos a sua durabilidade. A repetição dos detalhes obsoletos que comprometem a preservação e a conservação das edificações não tem razão para continuar. Todavia, isso é uma constante na maioria dos casos de projetos em madeira, pois se acaba usando-a de forma convencional, com métodos de projetar próprios de outros materiais e sem evitar os fatores que a destroem nos seus pontos vulneráveis das coberturas, estruturas, vedações e fundações. Situações favoráveis sob o ponto de vista da preservação que possam promover formas de emprego da madeira nas soluções de projetos e detalhamento executivo serão abordadas na análise.

Com esse propósito, a pesquisa abordou aspectos e características gerais da madeira, os quais demonstram vantagens perante outros materiais de construção, tanto no seu processo de cultivo e como árvore, bem como no seu uso na construção. A pesquisa aborda questões da madeira relativas à sustentabilidade ambiental, ao caráter biodegradável, aos aspectos socioeconômicos e, sobretudo, em relação à sua utilização durável no projeto arquitetônico. A análise aborda o estudo de quatro casos existentes em Brasília de obras em madeira, com tecnologias distintas para cada caso estudado, a fim de tornar a pesquisa mais abrangente. Nesse sentido se realiza uma análise baseada na ação dos fatores ambientais que afetam os elementos construtivos da madeira utilizada nestas obras e dos procedimentos para abater seus afeitos.

A dissertação está estruturada em três grandes capítulos:

O capítulo 1 trata dos aspectos conceituais, históricos, sócio-econômicos, culturais e tecnológicos sobre o uso da madeira. Desta maneira inclui aspectos referentes ao caráter renovável da madeira como recurso natural, aspectos anatômicos e a sua durabilidade, bem como práticas tradicionais históricas em diferentes países. Este capítulo também incorpora aspectos sócio-econômicos, tecnologia atual e questões relativas ao uso da madeira e seus problemas.

O Capítulo 2 inclui a metodologia e o processo de análise com base nas variáveis estabelecidos para o estudo dos casos selecionados. Nesse sentido se apresentam os quatro edifícios, com seus respectivos quadros de diagnósticos e avaliações da situação atual dos seus elementos construtivos. Essa análise mostra como ocorrem os efeitos dos fatores ambientais sobre a durabilidade da madeira.

O Capítulo 3 tem um caráter conclusivo e inclui proposta de correção dos detalhes dos edifícios analisados, incluindo detalhes gerais para obras em madeira e princípios para projetos de arquitetura em madeira.

Finalmente se incluem as conclusões do estudo, nas quais se assinalam alguns critérios relacionados com o tipo de madeira, a tecnologia usada e os condicionantes ambientais, os quais devem ser considerados para a elaboração dos projetos arquitetônicos que objetivem uma maior durabilidade da madeira.

1 ASPECTOS CONCEITUAIS HISTÓRICOS, CULTURAIS SOCIOECONÔMICO E TECNOLÓGICOS SOBRE O USO DA MADEIRA NA ARQUITETURA

1.1 O Caráter Renovável da Madeira como Recurso Natural

A madeira é produzida por uma “fábrica” que se chama árvore e quando está sendo “processada” ela gera sombra, frutos para os seres humanos e animais, libera oxigênio para a atmosfera, seus galhos servem para abrigo e moradia de pássaros, suas folhas servem para fertilizar o solo, contribuindo largamente para a manutenção do equilíbrio ambiental. Depois que deixa de ser árvore ela vira madeira, iniciando um segundo ciclo de vida. É aí que começam a surgir os problemas, sendo o principal deles o da deterioração. Como se quer que a “fábrica” seja íntegra e saudável e de uso permanente, é necessário que ela seja bem manipulada pela inteligência humana, adotando estratégias para o manejo do recurso natural e seu uso. Dessa maneira se fará em face do problema da degradação e os benefícios serão mantidos.

Nas construções, de um modo geral, existe uma sobra de material que gera entulho e que causa poluição. Com a madeira é diferente, pois não aparece nos quadros de sobras e resíduos urbanos, apesar do desperdício, como é um material orgânico não aparece como entulho, mas sim como resíduo orgânico. As sobras causadas pelo descaso, de controle e ausência de uma visão mais racional sobre as alternativas de utilização acarretam uma perda de 30% a 40% em todos os setores, extração, corte, secagem e aplicação. No desmatamento, a forma de extração muitas vezes é irracional, pois se derrubam várias árvores para ir abrindo a floresta para a retirada de uma peça maior. O corte da madeira, se não for dentro de um sistema correto, provoca, mais tarde, a deformação das peças. Na prática, o correto seria avaliar a questão do desperdício da madeira desde a execução do projeto, para não haver esse alto percentual. Dever-se-ia, ao invés disso, explorar as possibilidades de aplicação da madeira com a implementação de mais conhecimento sobre as melhores formas de utilização quanto ao aspecto da durabilidade. Definindo os projetos com maior precisão para proteção dos efeitos climáticos ambientais.

A madeira é extremamente reciclável. As sobras beneficiadas são rapidamente consumidas; a serragem vira carvão prensado e as outras partes servirão para usos domésticos como cercas, caixotes, escoramentos, embalagens, móveis, etc. No entanto, isso não justifica o desperdício, porque a sua consequência se verifica no meio ambiente, com a destruição das florestas, sem falar no prejuízo econômico que esse comportamento pode causar. É interessante observar que a perda é acumulada em cada etapa, da extração ao beneficiamento, e no final se perde bem mais do que a perda inicial de 30%, com a extração. Dessa forma, quando se fala de durabilidade da madeira é evidente também que se deva combater o desperdício da madeira considerada barata pelo fato de serem espécies mais frágeis que são empregadas em usos secundários, evitando-se assim a destruição de árvores desnecessariamente.

“A madeira é uma das partes mais nobres e cobiçadas das árvores pela sociedade” (PAULA, 1997, p.19). Desse mesmo autor tem-se a informação de que a madeira contribui com 4% do PIB – Produto Interno Bruto do Brasil, e gera 30 mil empregos diretos e 60 mil indiretos, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 1991. Atualmente, segundo dados divulgados pela Associação Brasileira de Produtos de Florestas Plantadas, em seu relatório de 2005 o setor madeireiro gera 4,1 milhões de empregos diretos e indiretos.

A madeira pode ser também um agente de transformação social e melhoria das condições de vida da população. Assim como fazem os empresários, objetivando lucro. Os governos podem inserir em seus planos governamentais certas estratégias que envolvam algumas comunidades com o plantio, a manutenção e o aproveitamento dos extrativos de florestas que sejam plantadas e que os valores dos produtos florestais extraídos possam ser reinvestidos de forma a beneficiar as comunidades envolvidas nesse processo em diversos aspectos. Além do uso da madeira para a construção de habitações e equipamentos comunitários, outros recursos poderão ser gerados com o repasse da produção.

É grande a cultura gerada pelo uso da madeira, pois esse material está e sempre esteve presente como suporte material para um grande número das atividades humanas. No entanto, a madeira só pode ser uma matéria-prima realmente sustentável quando se desenvolve também a cultura da árvore, ou seja, criar o hábito de plantar a madeira que for usada. No Brasil, ainda se extrai madeira nativa, mas há países, como a Áustria, por exemplo,

que só utiliza ou compra madeira que tenha certificação. Em lugares como este leva a crer que o uso da madeira como um bem inclusive cultural já tenha atingido níveis bem avançados.

Mesmo em face do enorme apelo ecológico, o Brasil possui o maior índice de desmatamento do mundo. A média anual de perda de florestas atualmente é de 22.264 mil quilômetros quadrados, segundo o Prodes – Programa de Monitoramento do Desmatamento em Formações Florestais na Amazônia Legal, e o Inpe – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Só entre 2002 e 2003, por exemplo, a taxa de desflorestamento naquela região amazônica já era de 23.750 mil quilômetros quadrado, segundo dados do mesmo Inpe. A conversão das florestas em terras para a pecuária e para a agricultura não deve ser motivo de orgulho, pois se trata da destruição da maior biodiversidade do planeta e do patrimônio natural nacional. Entretanto, o emprego da madeira, promovido por segmentos que defendem o uso desse material, não é a causa maior do desmatamento.

Para esses casos, propõe-se o manejo florestal e o uso de madeira certificada. Essa certificação é outorgada à empresa ou instituição que praticar todos os requisitos do manejo do recurso para florestas nativas ou plantadas, entre os quais se inclui o inventário florestal, a queda dirigida, a extração e os meios de transporte de menor impacto, bem como a forma de plantio, de beneficiamento, a maneira de secagem e o programa social para os funcionários.

Em termos gerais, as iniciativas para o plantio e extração da madeira devem atender aos objetivos básicos, quais sejam, ser ecologicamente correto, economicamente viável e socialmente justo. No Brasil, as duas principais certificadoras são a FSC – Forest Stewardship Council (Conselho de Manejo Florestal) e o CERFLOR – Certificação Florestal.

A justificativa ambiental ainda não é o principal argumento, porque o mundo ainda não se encontra numa situação crítica, como ocorreu com o petróleo, por exemplo, na sua primeira crise, em 1973, a qual impulsionou os governos a ampliar as pesquisas sobre energias alternativas. Situação parecida com a do petróleo poderá ocorrer com os demais materiais de construção, porque, à exceção dos materiais renováveis e de origem orgânicas, todos são passíveis de extinção.

Verifica-se no Brasil uma espécie de cultura do desperdício no setor madeireiro, constatando-se um uso indiscriminado e exagerado do material como solução para conter o desgaste, ocorrendo, assim, uma enorme perda de material, criando uma deseconomia para o setor, além do prejuízo da perda de florestas de forma deliberada. Nesse sentido, existe a crença errônea de que quanto mais grossa a madeira mais ela dura, é mais difícil de pegar fogo ou até mesmo por ostentação de uma estética brutalista e esbanjadora. Esse pensamento elimina qualquer idéia de preservação ambiental e de conservação da própria madeira, o que deixa de admitir a possibilidade de reposição fácil e estratégica de peças danificadas numa obra antiga, por exemplo, os quais são requisitos imprescindíveis para a manutenção de qualquer obra.

A utilização da arquitetura em madeira viabilizaria em muitos aspectos as demandas por espaços na sociedade, tendo em vista o enorme potencial brasileiro desse material em quase todas as regiões sem que sejam necessários gastos em transporte, como ocorre com os outros materiais que não podem ser produzidos em qualquer parte do território. Custos menores e processos mais simples de industrialização favorecem o seu emprego, como se pode constatar com os seguinte dados:

a) De acordo com Athena Sustainable Material Institute e do Candian Wood Coucil, a madeira consome, para a sua produção, 2,8GJ (giga joule) x 10³, enquanto o aço consome 6,7 GJ x 10³ e cimento 4,8 GJ x 10³ (BLUMENSCHIN, 2004).

b) Os resíduos urbanos provenientes dos processos construtivos estão na ordem de 40% a 70% do volume total dos resíduos sólidos, de acordo com pesquisas realizadas por Hendriks (2000) e Pinto (1999), citado por Blumenschen.

O destino dos resíduos das cidades é um enorme problema porque quase sempre são depositados em locais irregulares e clandestinos agravando a gestão ambiental das cidades.

Segundo Blumenschein (2004, p. 72):

O manejo e depósito do lixo urbano vem gerando sérios problemas como o esgotamento prematuro das áreas para destino final dos resíduos, obstrução de elementos de drenagem urbana, degradação de mananciais, sujeira nas vias públicas, proliferação de insetos e roedores e o conseqüente prejuízo aos cofres municipais e a saúde pública.

Isso mostra a urgência que existe no sentido de que seja invertido esse quadro, promovendo o uso de materiais renováveis, orgânicos e recicláveis como madeira, bambu e outras fibras naturais mais resistentes.

Outra questão que motivou a pesquisa, relacionada com o aspecto ambiental e especificamente sobre os aspectos de projeto, é o excessivo *desperdício* na extração, no preparo e na aplicação da madeira que, segundo depoimento pessoal do engenheiro do IBAMA e professor da UnB Júlio Eustáquio de Mello, é na ordem de 30% a 40% nas etapas de corte, preparo e utilização. Entende-se que essa prática com alto desperdício leva também a um procedimento na execução dos projetos no sentido de não se preocupar com a questão da durabilidade. O desperdício é agravado ainda mais pela virtude de a madeira de ser reciclável além de renovável, pois não se transformará em resíduo sólido e sempre terá um uso. Adicionalmente, é antieconômico no sentido de que se consome em excesso uma matéria prima valiosa, sem razão de ser.

1.2 Aspectos Anatômicos e a Durabilidade da Madeira

Enquanto árvore, o caule (cilindro vascular) possui uma parte viva chamada de alburno, mais externa, e uma parte morta chamada de cerne, mais interna. Nas madeiras leves, o cerne é da mesma cor do alburno, ficando difícil distinguir o que seja um e o que seja outro. No centro existe a medula que não faz parte da madeira; esta tem poucos milímetros de diâmetro, mas em algumas espécies de madeiras moles pode atingir dimensões maiores. As células que formam a madeira se desenvolvem numa superfície cilíndrica que se estende por todo o tronco, ramos e raízes. Essa superfície é chamada de câmbio vascular e está localizada um pouco abaixo da casca, mais precisamente entre a casca interna e o xilema, que é a madeira. O câmbio é visto apenas com microscópio. As células da madeira crescem para o lado interno do tronco, formando o alburno e o cerne, e para fora, formando a casca. Tanto o alburno como o cerne são constituídos principalmente de fibras (celulose) no sentido longitudinal dos caules e lignina (substância que agrega as fibras).

Freitas (1989) ressalta:

Como a densidade da madeira pode variar entre 0,2 e 1,2 g/ cm³ isso quer dizer que o volume de espaços vazios oscila entre 85 e 20% do volume total da madeira. Esse espaço, quando preenchido pela água, provoca reações no material, pois a madeira é um material higroscópico, isto é, ela está sujeita à

absorção de água. Caso essa água permaneça constante, como se estivesse totalmente submersa (abaixo de 50cm do nível da água, pelo menos), a madeira se conservará. No entanto, o inchamento provocado pela entrada da água e depois a retração provocada pela saída da água, devido às mudanças climática, provoca a falência do material.

Ao longo do seu crescimento o caule de uma árvore sofre sucessivas alterações químicas tão diversificadas quanto a própria natureza, podendo conter certos compostos que conferem propriedades distintas à madeira, como o cheiro, a cor ou o gosto característico e outros extrativos. A celulose é o material principal das fibras da madeira e é cerca de 60% de todo o material.

Freitas (1989) acrescenta que:

A celulose é um polímero, cuja fórmula química é $(C_6H_{10}O_5)_n$. Ela forma, junto com a hemicelulose, que é outro composto da madeira, cadeias com 4.000 a 6.000 moléculas chamadas de microfibrila. A letra “n” da fórmula quer dizer o número de moléculas de celulose e pode variar em quantidades de 4.000 a 6.000. As microfibrilas estão embebidas em lignina igual como fica a armadura dentro do concreto. São as fibras que dão toda a sustentação mecânica da madeira. O arranjo das células ao longo do eixo longitudinal do tronco, que forma a sua estrutura, é chamado de grã.

Com relação ao aspecto higroscópico da madeira, o mesmo autor diz:

A celulose como a lignina e as hemiceluloses apresentam numerosos grupos hidroxilas (OH) que, devido à sua polaridade, têm a propriedade de se atrair uns aos outros e inclusive outras moléculas de líquidos polares formando pontes de hidrogênio. A água é um líquido fortemente polar e suas moléculas sempre serão atraídas pela hidroxila. A força de atração é bastante grande resultando densidades superiores a 1,0 g/m³ para a água absorvida.

O teor de umidade é calculado como o quociente entre a massa de água presente na madeira e a massa da madeira seca é definidor como um fator que deve ser observado e mantido do dentro dos padrões.

A quantidade de água numa peça de madeira pode chegar até 30% e esse estágio chama-se PSF – Ponto de Saturação das Fibras, e é um teor de umidade bem a cima daquele admitido para o uso da madeira de maneira comum, que é de 12%. (FREITAS, 1989) O teor de umidade é calculado como o quociente entre a massa de água presente na madeira e a massa da madeira seca.

A árvore, depois de transformada em madeira, inicia um outro ciclo. A madeira nunca fica totalmente seca e a água residual que se mantém chama-se teor de umidade, que depende do meio ambiente (ver menção à norma no item água, nos fatores ambientais). Nas peças brutas ou toras pode-se ver desenhos de anéis emparelhados que são os anéis de crescimento. Cada anel corresponde a um ano de vida da árvore. Cada vez que o câmbio retoma a atividade ele produz um estágio diferenciado, criando esses anéis de crescimento. Eles se formam devido ao crescimento desigual que ocorre no verão e no inverno. Os anéis de inverno são praticamente invisíveis porque a árvore quase não cresce neste período, os chamados anéis que são visíveis, na verdade, são os de verão ou os do período chuvoso, quando as árvores mais crescem. Cada vez que o câmbio retoma a atividade, ele produz um estágio diferenciado, criando anéis de crescimento. Pode existir um desvio nesses anéis em árvores de lugares onde sempre venta muito ou em árvores que nasceram em terrenos inclinados. Isso é tremendamente prejudicial para o uso da sua madeira, porque as peças fatalmente se empenarão, acarretando distensões desiguais.

A madeira bambu e outros materiais de origem orgânica não são estudados a fundo nos cursos de Arquitetura. Ao contrário do que se passa com outros materiais como o aço e o concreto armado, cujo estudo detalhado faz parte de praticamente todos os cursos de Engenharia e Arquitetura, a madeira não é objeto de uma abordagem mais aprofundada por parte dos currículos universitários. Em consequência disso, os profissionais formados nas universidades brasileiras não estão aptos a usar a madeira da mesma forma que outros materiais onde obtiveram conhecimento mais completo no curso de graduação.

Dessa forma, abre-se um leque de possibilidade para o estudo sobre o uso da madeira e a criação de padrões construtivos mais rápidos, mais leves e de resistência comprovada, devido ao grande potencial construtivo da madeira, pela sua trabalhabilidade. As pesquisas que podem ser desenvolvidas sobre a madeira possibilitam a geração de novas soluções tecnológicas. Projetos bem idealizados tecnicamente e mais bem ajustados aos seus contextos poderão abrir uma frente de atuação para os arquitetos, área ainda pouco explorada pelos mesmos.

1.3 Aspectos Históricos e Culturais e Tecnológicos nas Práticas Tradicionais

A arquitetura mostra através da sua história como se transformaram os sistemas construtivos e as tecnologias. Mas um fator comum a todas as épocas foi a idéia da durabilidade e a resistência do material. Isso direcionou uma busca por materiais mais duráveis e resistentes e um abandono dos materiais orgânicos. Hoje se volta na busca dos materiais orgânicos devido a consciência ecológica e a compreensão de que aqueles materiais mais duráveis e resistentes não são tão adequados assim porque se esgotam já que não são renováveis. Então neste sentido é importante observar um estágio inicial do processo evolutivo das soluções autóctones para os materiais orgânicos no que se refere à durabilidade. Quando estes materiais foram sendo superados por outros. Foi ficando desprezada a preocupação com a durabilidade da madeira justamente quando aumentava o desenvolvimento tecnológico no mundo. Aqui nesta pesquisa nos preocuparemos especificamente com o aspecto da durabilidade, considerando inclusive os estudos e bases de informação que se concentram em outras áreas de estudo da madeira ou mesmo a outras áreas da ciência.

Verifica-se, nas construções de madeira de épocas mais remotas, soluções bastante originais, e até mesmo mais sofisticadas do que muitas soluções adotadas na atualidade as quais, pelo fato de desprezarem a madeira, não se preocuparam em aprimorar a sua tecnologia.

Na visão de ALEXANDER (1966, P.37), “estas culturas mais antigas chamadas inconscientes de si mesmas em contraposição com as outras formas de construir inclusive a nossa, que seriam as conscientes de si mesmas” usavam materiais renováveis de origem orgânica e por isso tinham que ter muito critério na forma de empregá-lo com relação às estratégias para a durabilidade. “A tecnologia de comunicação era subdesenvolvida naqueles tempos, em certos casos não havia relações escritas nem desenhos arquitetônicos e o intercâmbio entre as culturas era pequeno” (ALEXANDER, 1966). Isso quer dizer que a mesma experiência haveria de ser adquirida varias vezes, geração após geração, sem a possibilidade de desenvolvimento ou mudanças radicais a não ser alguns ajustes em função do terreno.

As edificações antepassadas eram feitas de madeira possivelmente porque era o sistema construtivo mais viável. A pedra era muito pesada e de difícil corte. Então a madeira tomou um lugar primordial entre os materiais de construção, também porque se

desconheciam o concreto e o aço que foram inventados mais tarde. Por esse motivo as edificações eram feitas para durar muito. E por esta razão não se deve desprezar aqueles conhecimentos, que eram práticos, mas que foram soluções técnicas testadas e experimentadas ao longo de centenas e até milhares de anos.

Algumas das estruturas mais antigas como as cabanas da Ásia Central, por exemplo, têm alcançado tal nível de desenvolvimento que dificilmente poderão ser aperfeiçoadas pela tecnologia moderna, o qual tem sido suficiente para assegurar sua sobrevivência em pleno século XX (ALEXANDER, 1966).

Porque então não tomar como paradigma as soluções construtivas ligadas à preservação existente nesses antecessores genéricos? A seguir serão mostrados exemplos concretos, como comprovações da durabilidade da madeira. Esses tipos mostrados foram duráveis por tanto tempo porque foram adaptadas às condições atmosféricas. Por isso é mais importante partir da observação mais abrangente possível das tecnologias e sistemas construtivos, para ver os detalhes arquitetônicos e como são colocados os elementos construtivos para tornar as edificações mais duráveis.

O que se observa são aspectos culturais, e a cultura une a prática com a teoria, une o técnico com o artístico, mesmo que primárias, são soluções inteligentes que servem de estímulo para a pesquisa. Essas que são vistas podem ser resgatadas, e podem ser combinadas com os conhecimentos tecnológicos da atualidade, melhorando a performance das edificações de madeira no que diz respeito a sua conservação e a sua durabilidade.

Esses exemplos foram escolhidos sem critérios relacionados a algum aspecto contextual, localização, temperatura, etc. a não ser a preocupação com o aspecto da durabilidade. Estes exemplos foram escolhidos porque foram exemplos que se encontravam mais disponíveis, deve-se salientar que existem muitos outros, mas não é o eixo desta pesquisa se estender extensivamente os exemplos.

1.3.1 Edificações primitivas (Nova Guiné)

Em locais da Nova Guiné ainda se usa o sistema mais elementar como era primitivamente como se pode ver de forma esquemática na Figura 1, na qual as estruturas ainda estão incrustadas diretamente no solo, mas alguns detalhes construtivos já eram levados

em conta. Nas suas intervenções mesmo primárias buscavam terrenos levemente inclinados para que a umidade não ficasse retida, e ainda a idéia de manter separadas as peças de madeira para que estejam sempre bem ventiladas é o procedimento habitual. A forma arredondada também era bastante usada, para se harmonizar mais com a natureza, sem que nenhuma lateral ficasse sem tomar sol e ao mesmo tempo evitar uma exposição frontal mais intensa. Além disso, evitando arestas que teriam detalhes construtivos mais complicados, sujeitos à penetração da água.

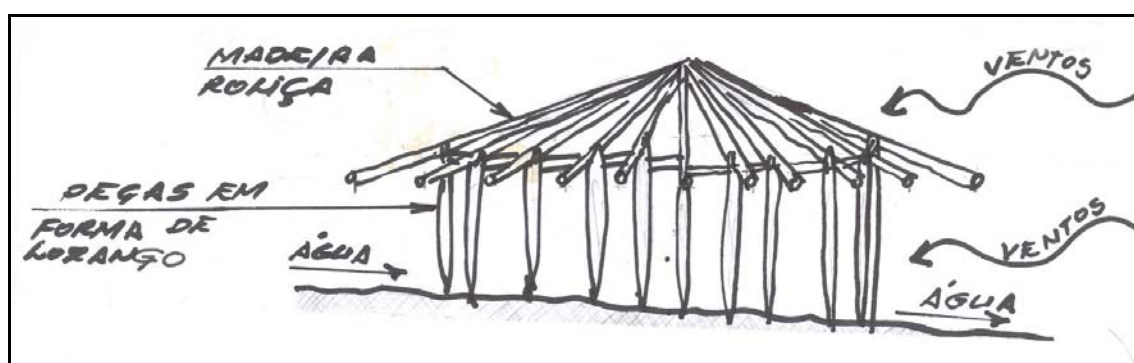


Figura 1 – Estrutura de construção primitiva

Fonte: Desenho do autor.

1.3.2 Edificações primitivas (China)

Segundo o professor Zanine Caldas, as construções apresentadas nas figuras a seguir são do século V, aproximadamente, construídas na China de acordo com um depoimento pessoal deste professor. As fotos foram tiradas pelo próprio Zanine, em 1936, quando esteve na China. Nessas construções, pode-se verificar uma interessante estratégia adotada para impedir que a umidade do solo atinja as peças de madeira, elevando toda a construção cerca de 50 cm do solo. Os pilares roliços de madeira de pequeno comprimento com as suas fibras no sentido vertical não se encostam na base, mas são encaixados por meio de uma cavidade em forma de garra sobre uma longarina (viga) de madeira com suas fibras na direção horizontal. Esta transição é importante porque as fibras da madeira dos pilares na direção vertical favorecem a condução da umidade que vem da base que esta em contacto com o solo, devido ao efeito da capilaridade no sentido das fibras. E ao contrário, as longarinas de madeira que estão em contacto com uma base de pedra, com suas fibras na direção horizontal dificulta a subida da umidade que vem desta base. Estas longarinas são apoiadas sobre uma

base de pedras enterradas no solo, estas pedras ficam com uma parte exposta poucos centímetros acima do solo onde inicia a justaposição das peças de madeira.



Figura 2 – Antigas casas chinesas

Fonte: Arquivo fotográfico do CANTOAR / FAU



Figura 3 – Antigas casas Chinesas

Fonte: DAM/UnB (1987), Zanine Caldas, 1936.



Figura 4 – Detalhe construtivo

Fonte: Arquivo fotográfico do CANTOAR. Origem: DAM/UnB (1987), Zanine Caldas, 1936.

Outra solução interessante que existe nessas edificações chinesas, nesse caso para impedir o acesso de roedores, estão localizadas nos mesmos apoios que se fez referência acima, onde é esculpida uma concavidade em forma de cogumelo. No entanto, não há mais informações sobre estas construções. O que está sendo relatando foram dados conhecidos em 1987, quando funcionava na UnB o Laboratório de Estudos sobre a Madeira – DAM, dirigido pelo professor Zanine Caldas.

1.3.3 Edificações de palafitas (Brasil)

As casas sobre pilotis de madeira roliça de pequeno diâmetro chamadas de casas de palafitas conforme se pode observar na Figura 5 (pág. 31). É uma amostra do *habitat* característico dos caboclos amazonenses. Sua razão de ser não é exclusivamente devido às cheias, já que elas existem em terra firme. “As casas sobre palafitas, dos habitantes ribeirinhos do grande rio, revelam a extraordinária capacidade construtiva dessa gente, em face da enorme variabilidade do nível das águas...” (CARDOZO, 1955).

Verifica-se que o tópico de interesse desta tipologia é a necessidade de ventilação. Para livrar-se da umidade provocada pelas constantes chuvas que atingem todas as partes (estrutura, pisos, paredes e teto) da edificação, e da umidade proveniente do solo, a experiência com estes fatores climáticos e com os materiais mais disponíveis na floresta, determinou tais procedimentos. Ou seja, que a casa seja totalmente erguida do solo para que assim uma boa ventilação seja relevante sem que seja levado em conta situações prejudiciais que ocorrem nesses casos, nos quais a madeira está totalmente exposta ao sol intenso e às constantes chuvas.

Na região amazônica tem um período de chuva intenso de novembro a março que na região é chamado de inverno, mas em termos estacionais é o verão e o outono, e um período que de chuvas menos intenso de abril a outubro que na região é chamado de verão, mas é o inverno e a primavera.

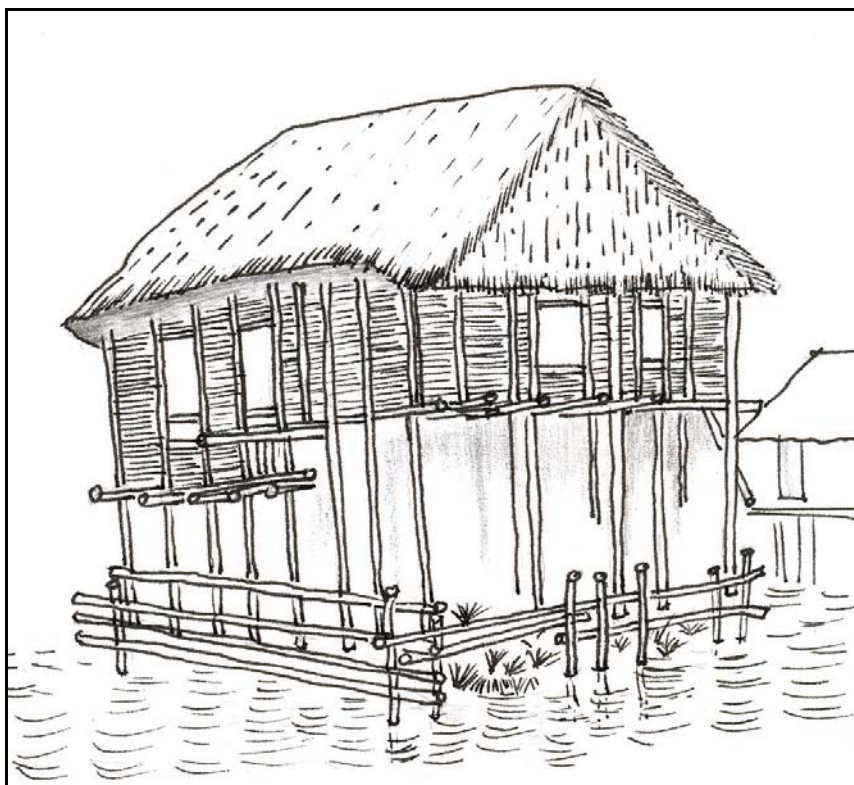


Figura 5 – Casas de palafitas da Amazônia

Fonte: Desenho do autor.

Existe um ditado popular nessa região que diz: “No inverno chove o dia todo, e no verão chove todos os dias”. Isso quer dizer que quase sempre está chovendo nestas regiões, e no caso das edificações em palafitas, como não são protegidas da chuva (a cobertura só protege internamente), pode ser essa a razão pelo qual elas são construídas bem no alto, suspensas por muitos esteios de troncos finos, com alturas variadas chegando até cinco metros, para poder assim receber o máximo de ventilação.

Outras causas da ocorrência das edificações de palafitas, apenas como complemento das informações, porque não são objeto desta pesquisa, são a constatação de que essas edificações são de palafitas para terem proteção dos animais e também devido a tradição, pois este artifício está incorporado ao modo de viver desta população.

1.3.4 Edificações de troncos (Romênia)

As edificações antigas de troncos vista na Figura 6 (pág. 32), predominantes no leste europeu podem ser estudadas como um parâmetro de durabilidade. As árvores (de nome abeto) que eram selecionadas para ser usadas nas construções eram totalmente

desgalhadas e deixadas em pé durante dois anos antes que fossem cortadas para que pudesse ser aproveitada toda a resina da madeira e assim torna-la mais durável e resistente ao ataque dos agentes biológicos. Existem até hoje muitas comunidades nas regiões da Transilvânia que mantêm a mesma configuração urbana do tempo em que foram edificadas, por volta do século XI. Este modelo desenhado na figura 6 foi copiado de uma casa de tronco (chamada também de “Raulandstue”), construída no ano 1250 e que foi transladada para o Museu Popular de Oslo, na Noruega.



Figura 6 – Casa de troncos da Romênia

Fonte: Desenho do autor.

As casas de tronco são relevante como exemplo porque possuem alguns cuidados com relação aos tópicos que são abordados nesta dissertação. As principais estratégias são no que diz respeito aos fatores como: o sol, os ventos, a água, e aos agentes biológicos. Os troncos destas edificações não são totalmente unidos evitando assim proliferação dos microorganismos, mantendo frestas milimétricas que também servem para passagem de correntes de ar evitando o acúmulo de umidade nas fachadas. Estas frestas podem ser vedadas se for necessário por massa simples feita com compostos de terra e musgo, ou peças mais delgadas como varetas, quando ocorrem frios muito intensos.

A disposição em que se encontram os troncos das paredes encaixados no sentido horizontal não é aleatória, tem uma razão de ser, é porque proporciona uma maior

estabilidade e pelo fato de que a umidade das chuvas ou aquela proveniente do solo quase não se propaga no sentido perpendicular ao das fibras da madeira. E a água da chuva que penetra pelo topo dos troncos próximo aos encaixes tem mais facilidade de evaporar do se estes troncos estivessem numa disposição vertical

Nas regiões onde são muito usadas estas tecnologias de troncos encaixados costuma esfriar até -13°C , é o caso da Transilvânia e outras regiões da Romênia e nas regiões da Noruega, onde a neve é costumeira. Esta baixa temperatura favorece de certa forma para a durabilidade da madeira reduzindo a proliferação de fungos e microorganismos. Mas isso não quer dizer que a madeira esteja totalmente isenta destes fatores biológicos principalmente porque nestas regiões mesmo nas estações mais quentes o sol não é muito intenso. Assim sendo a umidade pode tornar-se excessiva mesmo nas estações quentes. E assim o sol por ser escasso nestas regiões passa a ser extremamente necessário também para os materiais de construção de origem orgânica. Já que são regiões frias e úmidas na maioria do tempo é importante que também haja sol incidindo sobre as fachadas de madeira para que ocorra uma certa higienização natural que ajuda a evitar o assentamento dos microorganismos. Desta forma não há necessidade de beirais muito longos conforme verificamos nestas edificações. De uma forma quase oposta, pode ocorrer em outras partes do mundo uma situação climática onde o sol devido aos seus raios infravermelhos muito fortes, não poder incidir sobre a madeira porque provocaria o desgaste e a destruição do material.

Nessas edificações, onde costuma dar problema de desgaste por causa das intempéries, que no caso é o excesso de umidade, é na primeira peça de madeira e de maior seção localizada nas paredes, que está imediatamente por cima de uma base de pedra que está em contacto com o terreno. Porém esse problema só ocorre em períodos longos de tempo, aproximadamente de cem em cem anos. O que já é uma duração relativamente longa. Isso ocorre porque esta peça está no sentido horizontal, perpendicular ao sentido de propagação da umidade quando sobe do solo por capilaridade. Mas como esta peça de madeira esta solta (apenas encaixada) pode ser substituída através de um simples mecanismo, sem que haja prejuízo ao restante da edificação.

1.3.5 Edificações de troncos (Noruega)

Nos vales da Noruega, também chamados de fiordes se ergueram desde os séculos XI e XII as majestosas igrejas de madeira (chamadas de *stovkirke*), com a introdução do cristianismo pelo rei Olaf, estas foram construídas pelos construtores de barcos *vikingues*. Nas madeiras destas igrejas persistem certos detalhes e esculturas de dragões e heróis épicos, dado que nem todos os noruegueses aceitaram a nova religião permaneceram os ícones tradicionais. A técnica de construção com troncos os noruegueses aprenderam com os russos, que a partir do medievo se tornou popular na Noruega. O material mais usado era a madeira de abeto rica em resina. Esta mesma tecnologia chegou também ao Canadá e aos Estados Unidos através do estado do Alasca.

Os tópicos básicos nesse tipo construção é o sistema de isolamento em relação ao solo para o aproveitamento máximo da ventilação e da insolação nas peças de madeira usadas para sustentação geral de toda a edificação

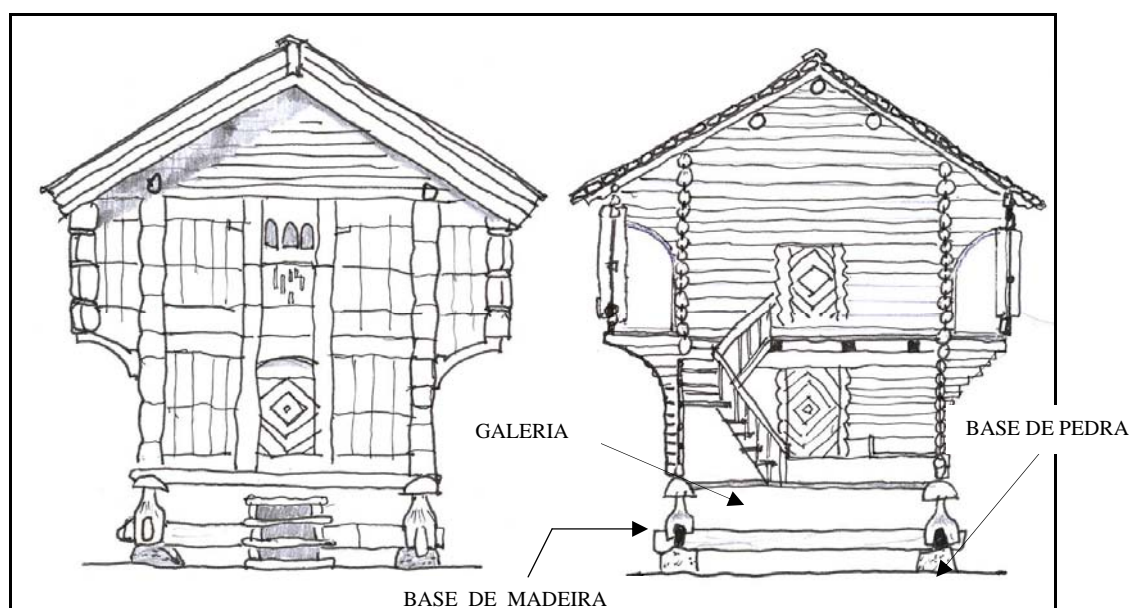


Figura 7 – Edificações de troncos dos fiordes da Noruega

Fonte: Desenho do autor.

Percebe-se que existe nessas edificações norueguesas a mesma solução usada nas edificações antigas da China, descritas anteriormente, tais edificações construídas no século XI, no que diz respeito às estratégias adotadas para receber uma boa intensidade de ventilação e insolação com as peças de madeira, conforme se pode visualizar na Figura 7. Acima da base de pedra, formando uma espécie de galeria para regulação dos efeitos provocados pelos agentes climáticos, encontra-se bem articulado um sistema de cintas e pontalotes. É provável que estas construções nos fiordes noruegueses tenham sofrido

influência daquelas construções chinesas, trazidas pelos russos. Constatou-se, entretanto, que houve uma evolução das técnicas construtivas para melhorar o aspecto da durabilidade, em relação às anteriores, para a solução construtiva da base, principalmente nos encaixes cruzados dos cantos que são mais rígidos e mais altos.

Outra situação que também evoluiu em termos de técnica construtiva nas edificações norueguesas foi a prevenção com relação ao efeito de deslizamento da água da chuva sobre as paredes da edificação que normalmente escorrem e se acumulam sobre a base afetando com excesso de umidade início dos pilares. No caso destas edificações norueguesas que geralmente são de dois pavimentos, o pavimento superior tem uma área maior do que o pavimento térreo, neste caso o pavimento superior cria uma espécie de beiral fazendo com que a água que escorre sobre as fachadas deste pavimento e o respingo da chuva não escorra sobre o pavimento térreo e nem se acumule nas peças de madeira da base.

1.3.6 Edificações de Toroja (Indonésia)

Essas edificações da Indonesianas são chamadas casas de Toroja, um povo montanhês do sul da região de Slawasi na Indonésia. Estas edificações são construídas inicialmente pequenas e depois vão se ampliando gradativamente ao longo do tempo. As edificações do conjunto vistas na Figura 8 já se encontram em seu tamanho máximo e possuem cerca de trezentos e cinquenta anos. As casa não podem ser derrubadas devido ao aspecto cultural e religioso. Esses povos acreditam que as edificações guardam os espíritos daqueles que morreram. A forma encurvada das coberturas em forma de cela é inspirada na forma de suas embarcações. A orientação geográfica das casas, com a frente para o norte é devido a crença que os Torojas têm de que seus antepassados eram originários do sul da China ou do Camboja. Mas casualmente está orientação é adequada para que não haja uma incidência descomedida dos raios solares incidindo na fachada principal, onde também existe uma quantidade maior de peças de madeira podendo ocasionar a defeitos.

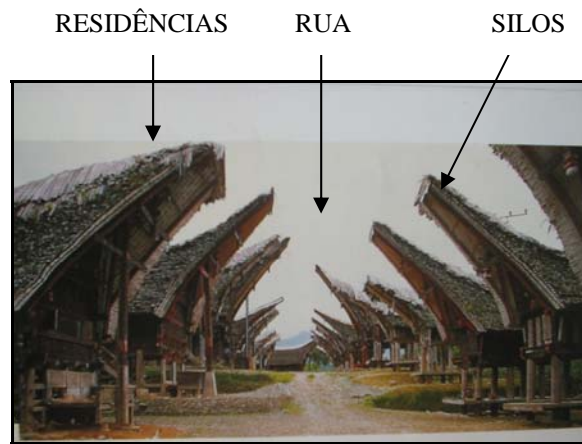


Figura 8 – Casas de Toroja (conjunto)

Fonte: KAUTENBACH, 1999, p.780.

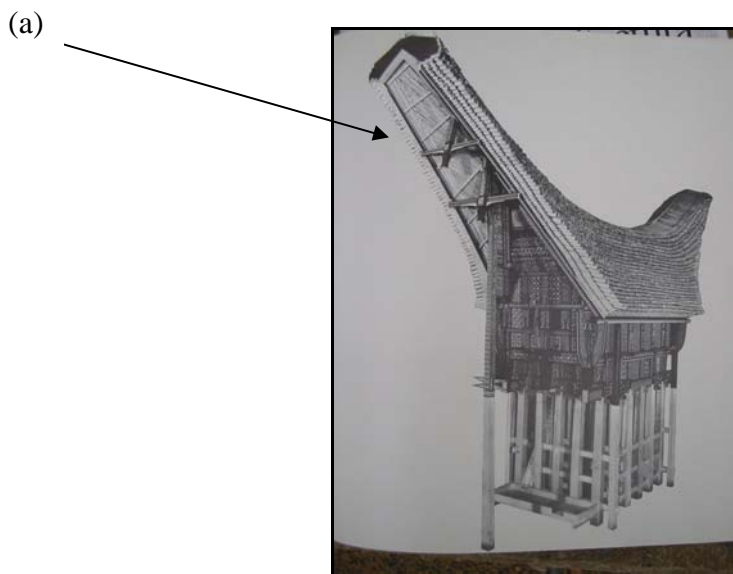


Figura 9 – Casas de Toroja

Fonte: GUIDONI, p.151.

O aspecto técnico de interesse nestas edificações é a reafirmação do feito já constatado em outros exemplos da necessidade de que as edificações de arquitetura vegetal devam seguir praticamente como norma a obrigatoriedade de garantir boa ventilação e alguma insolação nas bases e nas outras áreas sujeitas a umidade. O recurso técnico utilizado neste caso é o prolongamento do beiral (letra “a” na figura 9), e a proteção da cumeeira com bambu, para aproveitar o verniz natural da sua superfície externa do bambu. Além disso o distanciamento e o isolamento do corpo da edificação em relação ao terreno elevando as peças do piso (feito de bambu) e as paredes (feitas de fibra de palmeira transada)

Um detalhe estrutural interessante ainda é este da fachada principal que é concebido por razões simbólicas, mas possibilita um avanço da cobertura resguardando as peças da fachada da ação da umidade. Mesmo que estas ocasionalmente possam receber água estão estrategicamente bem instaladas permitindo boa ventilação.

1.3.7 Casas coloniais (Japão)

Nas construções japonesas do período colonial as tipologias construtivas que enfocamos data de mais de um milênio. O tópico de interesse nestas tipologias é o cuidado com a incidência de água nas peças de madeira sujeitas à deterioração, e a ventilação na cobertura e no piso. Nesse caso, pode-se concluir que existe, conseqüentemente, uma prevenção contra os fatores biológicos que são decorrentes da falta de ventilação e da umidade em locais inconvenientes como nas juntas, nas uniões, no topo das peças e nas ligações com o terreno.

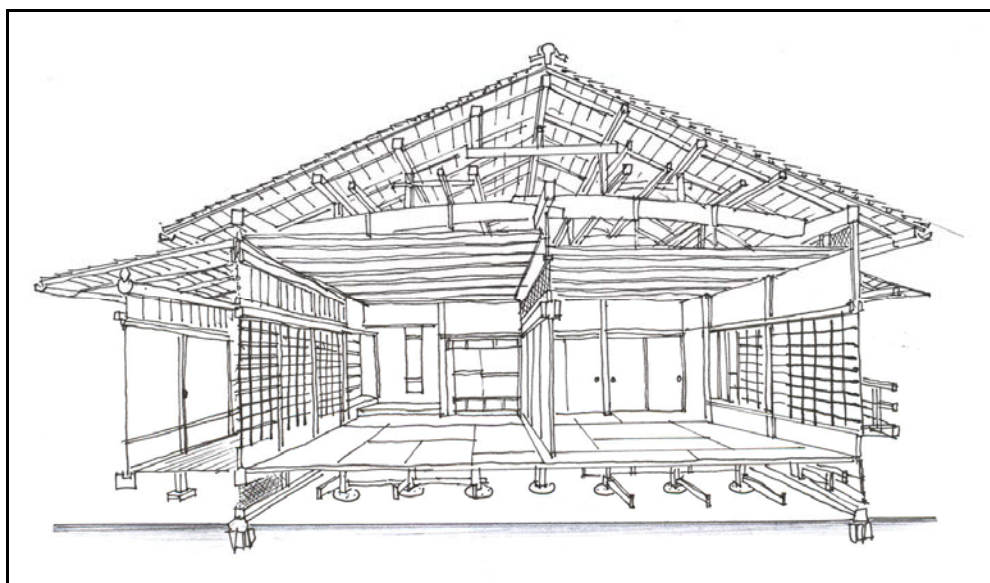


Figura 10 – Edificação de estilo colonial do Japão

Fonte: Desenho do autor.

Essas situações desenvolvidas para as estruturas destas edificações são quase ideais se não fosse a exposição excessiva dos pilares às intempéries nos locais onde não há varandas. Percebe-se que existe uma aeração quase total nestas edificações, com o ar permeando sob o telhado e sob o piso. Este tipo de edificação tem muitos paradigmas que podem ser seguidos para construções com matéria prima vegetal.

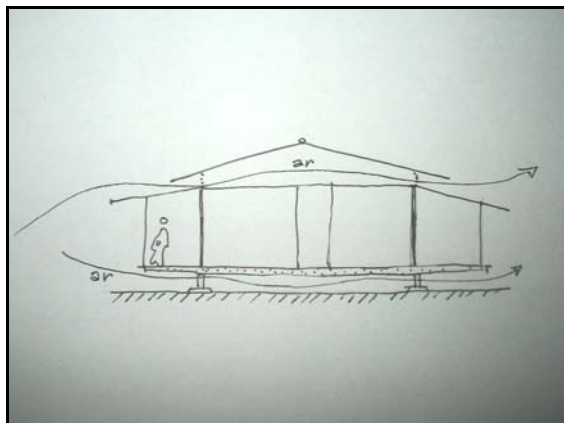


Figura 11– Ventilação nas antigas casas japonesas

Fonte: Croqui do autor.

1.3.8 Construções vernaculares (Camerum)

Nessas construções africanas do Camerum vistas na Figura 12 da página seguinte, com métodos antigos e comuns em muitas regiões da África observa-se um simples detalhe, mas que favorece de sobremaneira quando for preciso trocar os pilares. Que é a posição estratégica que os mesmos são instalados, de forma independente do resto da edificação. Um tópico de interesse nestas edificações é a grande proteção da cobertura evitando a incidência da água nas peças do telhado que possui um bom fechamento, mesmo com a ação do vento.

Outro tópico interessante é a facilidade de substituição daquelas peças sujeitas ao desgaste, no caso os pilares periféricos que se encontram expostos às condições inconvenientes da ação dos fatores ambientais, particularmente ao ataque de microorganismos provenientes do solo agindo conjuntamente com o sol e a água da chuva. Isso porque os mesmos apodrecem normalmente na base que está incrustada ao solo. Nestas edificações os pilares encontram-se afastados das vedações, podendo ser substituídos sem interferência no corpo da edificação.

Quando se escora o telhado apenas com a parede, por um espaço curto de tempo, consegue-se substituir os pilares que estão deteriorados. Estes pilares estando isolados desta forma facilitam a operação de remoção. Em outros casos em que os pilares estejam expostos, porém agregados às paredes quando se precisa mexer na estrutura da edificação, ocorre interferência em diversas outras partes, como nas próprias vedações e na cobertura.

Este sistema está dentro dos padrões básicos de arquitetura de materiais renováveis que admite a substituição das peças de maneira simples quando inevitável, garantindo a vida útil da edificação nos demais componentes.



Figura 12 – Edificações do Camerum – Africa

Fonte: Guidoni, p.241.

1.3.9 Construções vernaculares coletivas (Nova Guiné)

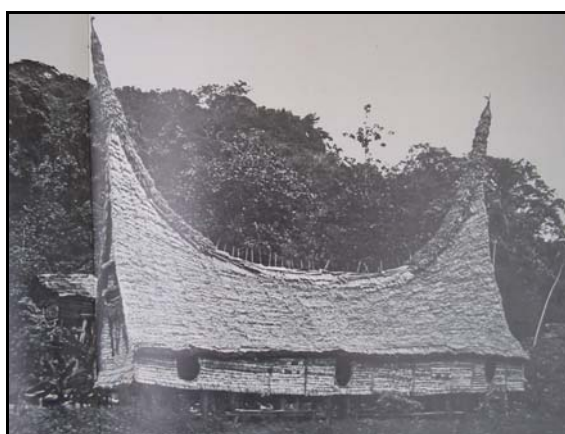


Figura 13 – Templo e Centro Comunitário na Nova Guiné

Fonte: Guidoni, p.151.

A Figura 13 representa uma construção da Nova Guiné. É a casa principal da aldeia, o que representa a união dos clãs.

Guidoni dizia:

O equilíbrio entre a arquitetura e os elementos esculpidos fazem do conjunto da construção uma imagem da capacidade construtiva (em conjunto o sentido ritual e político) dos clãs que cooperam na sua elevação (p. 150).

Verifica-se, nesse caso, a madeira totalmente protegida pela cobertura de palha o qual aumenta a sua conservação. A palha pode ser substituída ou sobreposta outra camada antes que a madeira apodreça, porém isso não garante que a madeira não possa ser atacada por outros fatores naturais e biológicos no interior da edificação se não for tomado os devidos cuidados.

O tópico de interesse neste caso é a forma como se utiliza a palha efetuando uma total proteção das peças de madeira bruta da estrutura. A cobertura de palha fazendo uma fechamento bastante completo e as esferas de palha, que podem ser substituídas periodicamente, o que torna muito mais simples do que a substituição de elementos estruturais, conservado assim as peças das estrutura e servindo de vedações externas.

1.3.10 Edificações da Idade Média (Inglaterra)

A figura 14 mostra as tipologias de construção que existiram desde a pré-história e durante toda a Idade Média. Antes da invenção do aço e do ferrocimento usando estruturas de madeira nas coberturas foi a maneira possível e eficaz de criar coberturas espaçosas com o mínimo de gasto de materiais na antiga Inglaterra.

Kahn (1981, p. 28) assevera:

Este tipo de edificação serviu como alojamento do chefe do clã, cobertura para o camponês e o seu gado, armazenamento de colheitas, casa senhorial e sede da administração feudal, Igreja, pousada, hospital e mercado.

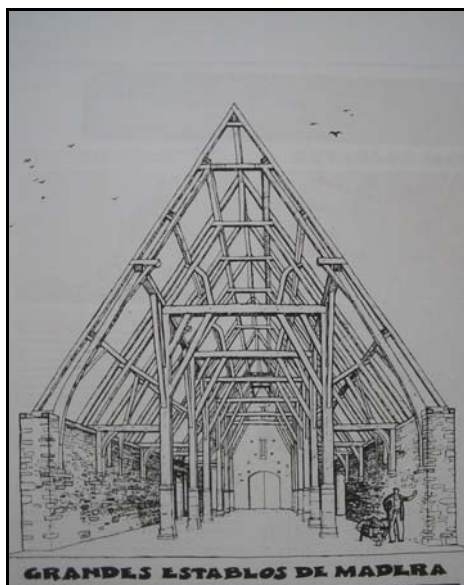


Figura 14 – Edificações Inglesas

Fonte: KAHN, 1981, p. 28.

Esse exemplo é válido para mostrar uma estratégia de projeto do qual toda estrutura de madeira é protegida por cobertura (geralmente de cavacos de madeira), pelos pedestais de pedra ou alvenaria na base interna e por paredes de pedras nas laterais externas. Embora os riscos de agentes ambientais sempre existirão, pois a ventilação não está bem favorecida neste caso. Mas o tópico que queremos realçar é o conjunto que envolve a estrutura. Essa tipologia construtiva continuou sendo adotada nos Estados Unidos no século XVII mesmo depois de que se iniciou a utilização do aço e do ferrocimento na Europa.

Essas idéias de tipologias construtivas tradicionais mostradas devem ser resgatadas, haja vista que podem ser combinadas com os conhecimentos tecnológicos da atualidade, e assim melhorar a performance das edificações de madeira no que diz respeito a sua conservação.

1.4 Aspectos Tecnológicos da Madeira

Os sistemas construtivos e as tecnologias evoluem constantemente nos casos nos quais se dá mais continuidade ao uso da madeira. Já nos lugares onde se usa pouca madeira nas obras de construção civil, é inevitável a insuficiência do conhecimento sobre esse assunto, deixando de ser primordial a invenção de novas técnicas. Conseqüentemente, a durabilidade fica em um estágio defasado com relação ao desenvolvimento de pesquisas sobre

o tema. Todavia, é necessário promover o desenvolvimento de novas técnicas partindo do estágio em que elas se encontram. Nesse sentido, será indispensável levar em consideração as próprias condições, analisar os elementos de realidade atual e atingir as soluções adequadas.

Dessa forma, as pesquisas realizadas numa determinada região deverão ser aplicadas no local de origem, devido às suas características climáticas. Por exemplo, em Brasília, existe a particularidade de um período longo de seca de aproximadamente seis meses, com forte insolação e ventos no fim do período, e também um longo período de chuva de aproximadamente seis meses. Essas duas situações são extremamente prejudiciais à conservação da madeira. O clima no Distrito Federal é bem específico quando passa do período seco para o período chuvoso, pois ocorre um curto período de chuvas de três a quatro dias conhecido como “chuva da manga” ou “do caju”, coincidindo com o início da primavera. Nesse período, ocorre um aumento considerável do número de insetos e microorganismos. Há também choques térmicos, com sol muito quente e ventos frios um pouco antes, no mês de agosto. Com a continuidade da seca, a madeira continua a se retrair, ao invés de expandir, provocando reentrâncias nas peças, o que propicia o alojamento de insetos e poeira. Posteriormente, com a continuação do período chuvoso, um novo processo de degradação ocorre com o surgimento de diversos tipos de impactos.

As tecnologias de madeira são usadas de acordo com as exigências do projeto. As mais usadas são: madeira maciça, em toras, pré-fabricada, prensada (tipo *sandwich*), em plataformas, laminada colada e outros processos de industrialização como os aglomerados, compensados, etc. Elas são conhecidas como as tecnologias mistas, tais como: madeira com aço ou madeira com concreto. A diversidade de tecnologias é grande, mas é um fato que no Brasil se herdou prática de tecnologias de madeira bem desenvolvida, e por isso também a mão-de-obra não é especializada. Com isso, os sistemas construtivos de madeira são produzidos ainda de forma artesanal.

É importante a capacitação e o treinamento da mão-de-obra que lidará com tecnologias de madeira, porque, não sendo tradicionalmente empregadas no Brasil, o que se vê, quase sempre, são improvisos, usando a madeira em edificações sem nenhum critério. Dessa forma, a capacitação e a preparação da mão-de-obra é imprescindível para se fazer um bom uso do material. No entanto, é bem sabido que a tecnologia de madeira não surge do

nada; é necessário que seja difundida, ensinada e praticada, com o objetivo de ser aplicada em sua plenitude.

É possível que novas tecnologias sejam criadas, inclusive geradas a partir de conhecimentos autóctones, pois foi assim que as tecnologias surgiram no mundo. O caminho para a geração de novas tecnologias, visto sobre uma ótica histórica e seqüenciada, de acordo com a evolução do mundo, vai do artesanal, passando pelo semi-industrial até o industrial e, cada vez, descobre-se mais coisas. Os seres humanos herdaram os conhecimentos passados e aprimoraram-no com novas descobertas, para transformá-los em conhecimentos em um conhecimento mais denso. Hoje para se atingir êxito neste sentido tem-se que vencer as etapas, que são análogas ao processo histórico, diferenciando-se no aspecto temporal. A descoberta de novas tecnologias é também um processo evolutivo, que sempre parte de uma proposta inicial, que vai se aprimorando, podendo desencadear aperfeiçoamentos ou processos novos e processos de industrialização diferentes e mais evoluídos.

Dessa forma, é necessário um conhecimento das propriedades do material e das suas possibilidades em termos da facilidade de materializar certa função com um tipo determinado de madeira. Para informações concretas sobre as suas propriedades, existe uma norma técnica oficial, embora nunca se deva desprezar o conhecimento prático, pelo fato de a madeira ter um uso muito antigo e já ter sido bastante testada. Mesmo assim, como um princípio básico, o seu uso subentende uma capacitação profissional, no qual a prática e a experimentação devem ser incluídas no caso da pesquisa de novas tecnologias.

Quanto aos riscos com relação à mão-de-obra, a tecnologia de madeira está sujeita a riscos de acidentes tão grandes quanto os do aço, mas não tanto como a do concreto, que envolve um conjunto maior de técnicas. Nesse sentido, as técnicas relacionadas à madeira são mais simples. Mas esse fator de risco é uma questão que deve ser levado em conta na tecnologia da madeira. O risco está relacionado, de maneira intrínseca, com o desenvolvimento tecnológico, porque uma mão-de-obra qualificada pressupõe uma tecnologia desenvolvida. E, dessa forma, a inclusão de máquinas e de ferramentas acompanham também o desenvolvimento do processo de aprimoramento tecnológico. Quanto mais desenvolvida for a tecnologia, melhor será a mão-de-obra e mais aprimorada serão as máquinas e as ferramentas.

A tecnologia da madeira é um tema muito amplo, e nesta pesquisa não será tratado como um tema central porque envolve aspectos de uma natureza bastante diversa. A tecnologia está presente em todos os setores, desde o plantio da árvore, passando pelo corte, o armazenamento, a secagem, o preparo das peças e a montagem final. Estas etapas são interdependentes e para todas elas existem processos artesanais, semi-industriais ou de alta tecnologia industrial. Quando se trata de arquitetura, as etapas finais como o preparo das peças e a montagem são as mais importantes porque estão mais relacionadas ao projeto. Todos os processos, artesanais, semi-artesanais ou de alta tecnologia estão presentes em uma obra de madeira. Os componentes construtivos podem se apresentar na sua condição natural (toras) ou transformadas em produtos derivados por meios artesanais, semi-industriais ou por alta tecnologia industrial (tábuas, pranchas, etc.). Além disso, todos estes são usados para elaboração de sistemas construtivos de vedações (portas, janelas, molduras, painéis, etc.) e sistemas construtivos estruturais (vigas, tesouras, laminados, etc.). As combinações com outros materiais ocorrem na manufatura das peças de madeira normalmente quando está submetida a um processo industrial. Esta matéria-prima pode ser desde produtos químicos sintéticos para acabamentos superficiais, adesivos de uso interno e externo, plástico para dissimular ou formar juntas, produtos siderúrgicos para as juntas e articulações, parafusos, cravos de ferro, bronze, alumínio, etc.

Um aspecto que está bastante claro sob o ponto de vista tecnológico é que os sistemas atuais de aproveitamento e utilização da madeira de alta inversão de capital, não permitem a participação da população rural que vive em contacto direto com as florestas ou na sua proximidade e fazem uso direto de seus produtos e das madeiras consideradas não comerciais. Por isso é importante sistemas de aproveitamento da madeira como um produto florestal em pequena dimensão dependente de uma tecnologia básica.

É importante a capacitação e treinamento da mão de obra que vai lidar com tecnologias da madeira, porque esta não sendo tradicionalmente empregadas no Brasil requer um esforço no sentido de se adaptar a novos processos. O que se vê quase sempre são improvisos usando a madeira em edificações de forma tradicional por falta do conhecimento mais aprofundado de tecnologias da madeira. Desta forma a capacitação e a preparação da mão de obra é imprescindível para se fazer um bom uso do material e se poder avançar neste campo de atuação. Mas é bem sabido que a tecnologia de madeira não surge do nada, é necessário que seja difundida, ensinada e praticada. Para ser então aplicada em sua plenitude.

E a partir da experiência com obras realizadas ou a investigação de casos existentes extrair conclusões para novos projetos.

As tecnologias de madeira de obras definitivas normalmente estão voltadas para o objetivo de resistir ao tempo, mas esta ainda não é a preocupação básica. As técnicas as vezes falham neste importante requisito que é a durabilidade, por haver preocupação exclusivamente econômicas ou mais relativas a estrutura ou a estética. Para concluir é importante dizer que é fundamental o conhecimento tecnológico da madeira para se projetar bem a arquitetura de qualquer edifício em madeira. E ainda mais importante, incorporar esta tecnologia às medidas preventivas para durabilidade do material.

1.5 Aspectos Socioeconômicos do Setor Madeireiro no Brasil

O Brasil possui uma área de floresta significativa, seja de nativas ou plantadas. A parte nativa suscetível ao manejo, de aproximadamente 450 milhões de hectares. Compreendida pela área de Unidades de Conservação da categoria de uso sustentável sob o poder público como as Reservas Extrativistas, as Reservas de Desenvolvimento Sustentável e as Florestas Nacionais, Estaduais e Municipais, e sob a iniciativa privada, as Reservas Legais das Propriedades Rurais e as de produção das indústrias. O país possui uma das maiores áreas de florestas plantada do mundo de eucalipto e pinus, aproximadamente cinco milhões de hectares.

“A madeira é uma das partes mais nobres e cobiçadas das árvores pela sociedade” (PAULA, 1997, p.19). Alguns macroindicadores dessa importância se baseiam na formação do PIB, na geração de divisas e na contribuição para a melhoria da qualidade de vida da sociedade. De fato o setor florestal brasileiro contribui com quase 5% na formação do PIB Nacional e com 7% das exportações; gera 1,6 milhão de empregos diretos, 5,6 milhões de empregos indiretos e uma receita anual de R\$ 20 bilhões; recolhe anualmente R\$ 3 bilhões de impostos; conserva uma enorme diversidade biológica, com 6,4 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo 4,8 milhões com florestas da produção de pinus e eucaliptos, e mantem 2,6 milhões de hectares de florestas nativas (CARVALHO; SOARES; VALVERDE, 2006) .

A madeira pode ser também um agente de transformação social e melhoria das condições de vida da população. Assim como fazem os empresários, objetivando lucro. Os governos podem inserir em seus planos governamentais certas estratégias que envolvam algumas comunidades com o plantio, a manutenção e o aproveitamento dos extrativos de florestas que sejam plantadas e que os valores dos produtos florestais extraídos possam ser reinvestidos de forma a beneficiar as comunidades envolvidas nesse processo em diversos aspectos. Além do uso da madeira para a construção de habitações e equipamentos comunitários, outros recursos poderão ser gerados com o repasse da produção. Ainda, no que diz respeito aos aspectos sociais, o setor florestal é capaz de absorver mão-de-obra numerosa, colaborando assim para uma melhor distribuição de renda para a população. Vale lembrar que a exploração racional das florestas, com base no manejo sustentável, também propicia a melhoria das condições de transporte, acesso e comunicação de determinada localidade.

1.6 Aspectos Tecnológicos Atuais do Uso da Madeira

1.6.1 Considerações sobre a madeira maciça

No início da colonização do Brasil, a madeira maciça foi largamente explorada. Mas para que essa exploração não fosse feita de forma indiscriminada, foi criada pelo império uma lei para evitar o esgotamento das reservas das melhores madeiras, na lei estava também constituída de uma lista de nomes das melhores madeiras para serem usadas na construção civil dentre outras coisas. É por isso que hoje em dia se denominam “madeira de lei” para qualificar uma madeira quando ela possui boas qualidades.

Até hoje se pode presenciar a permanência de inúmeros centros urbanos antigos do período colonial, que se transformaram em históricos, coexistindo com a modernidade. Nestas edificações históricas, a madeira está exposta às intempéries como se não houvesse problema algum. Mas principalmente os estragos ocorridos nas colunas devido a umidade, e nas coberturas devido aos cupins comprometem quase todo este acervo. A madeira maciça usada para a estrutura, os pisos, as portas e janelas era normalmente combinada com o barro (taipa, adobe, etc.) para confeccionar as paredes, quase sempre apresentou problemas de durabilidade devido a retenção de umidade em diversos pontos localizados nas junções de peças de madeira, no contacto da madeira com a massa das paredes ou nas suas ligações com o solo. Apesar de toda a falta de estratégia das arquiteturas destas casas coloniais no sentido de prevenir-se quanto ao desgaste da madeira são muitas as amostras existentes de onde podemos tirar lições.

A madeira maciça roliça também chamada de madeira bruta é utilizada com mais frequência em construções provisórias, como escoramentos, por exemplo, desprezando-se outros usos. As árvores devem ser abatidas de preferência na época da seca, quando o tronco tem menor teor de umidade. Após o abate, remove-se a casca deixando o tronco secar em local arejado e protegido contra o sol.

As madeiras roliças, que não passarem por um período mais ou menos longo de secagem, ficam sujeitas a retrações transversais que provocam rachaduras nas extremidades.

A umidade nos troncos das árvores varia muito com as espécies e com a época do ano. Na estação seca, a madeira verde tem menor umidade que na estação chuvosa. Retirando-se a casca e deixando secar o tronco, evapora-se primeiramente a água contida no interior das células ocas; a madeira chama-se então meio seca, sendo seu teor de umidade cerca de 30%. Continuando-se a secagem, a madeira atinge um ponto de equilíbrio com a umidade atmosférica, chamando-se então seca ao ar. Como a evaporação da umidade é mais rápida nas extremidades (onde as fibras longitudinais estão abertas), a peça pode fendilhar-se durante a secagem. Pode-se evitar a formação de fendas pintando-se as extremidades com betume, ou qualquer outro meio que retarde a evaporação. As madeiras roliças devem ser utilizadas nas condições meio seca ou seca ao ar.

A madeira maciça serrada pode ser constituída de peças trabalhadas gerando um sistema construtivo pré-fabricado, ou pode ser constituída de peças lisas onde os encaixes e combinações passam a ser executados na própria obra da maneira mais conveniente e dependendo do projeto.

As construções fabricadas de madeira maciça tipo pré-fabricadas em termos da quantidade de madeira usada e da tecnologia empregada estão entre as obras leves de tarugos e tábuas e as pesadas de toras roliças. As casas com peças pré-fabricadas leves são uma alternativa para construir sem muita complicação. Os materiais chegam ao canteiro de obra cortados no tamanho certo, são montados com bastante agilidade e podem ser transportados para outro lugar, recompondo a edificação. Outra vantagem das construções de madeira pré-fabricadas é a mecanização do processo construtivo muito útil para construções em larga escala. O maior cuidado que se deve ter com a madeira é condicioná-la a uma secagem correta antes que as peças sejam cortadas e preparadas, porque do contrário poderá haver retração das peças depois de confeccionadas, o que altera suas dimensões inviabilizando o processo de montagem. No caso analisado dentro desta pesquisa foi empregado um sistema construtivo pré-moldado convencional que está descrito mais detalhadamente, na apresentação dos quatro casos de estudo.

Nos países onde o uso da madeira já atingiu um nível tecnológico elevado como no caso da Noruega, as casas pré-fabricadas passam por um processo de condicionamento da madeira de forma bem radical já que são usadas madeiras certificadas provenientes de árvores de espécies que crescem rápido e de boa trabalhabilidade. A

característica mecânica da madeira neste caso não é relevante. A madeira é usada mais para pisos e revestimentos e os sistemas construtivos são uma espécie de monoblocos. É usado um sistema de tratamento chamado Termo Wood (madeira termo tratada). A madeira é submetida a uma temperatura de 190°C ou 210°C, dependendo das exigências, caso se queiram peças mais durável. Este informe foi recolhido da entrevista com Hannutuukkale, da Finrforest Trermmwood (MALMAGER, 2005, p.27).

Em um dos casos estudado nesta dissertação, a casa pré-fabricada, a madeira passou por um processo de secagem e impregnação de fungicida comum e cobertura de selador, sem que fosse dado nenhum tratamento do tipo falado acima. A grande vantagem é que foi usada uma madeira mais resistente aos fatores ambientais, já que naquele caso estudado o projeto determinou que todas as peças da edificação pré-fabricada sejam de madeira e permanecem expostas.

Hoje não se admite mais o uso de madeiras maciças deste porte porque vai contra a idéia da preservação das florestas naturais. Quando se quer peças mais robustas como estas partimos para a utilização de madeira laminada colada que pode além de tudo ser produzida com “madeiras certificadas”. As madeiras escuras são as mais duráveis dispensam tratamento, as claras necessitam de maiores cuidados com relação a proliferação de fungos que causam manchas e o apodrecimento do material. Nas madeiras maciças é usado, principalmente, o cerne, parte mais dura, estável e mais impermeável. A menor permeabilidade do cerne deve-se entre outras coisas ao fato de que os extrativos obstruem as pequenas aberturas existentes nas paredes das células que o compõem.

A madeira maciça não é totalmente invulnerável. Para ficar resguardada dos cupins pode ser necessário realizar tratamento do solo, antes da obra, e tratamento periódico contra ataque de cupins após a construção. É usual também seguindo a tradição mais antiga sujeitar a madeira a um processo de queima superficial. Carbonizando a camada de recobrimento dos troncos, principalmente quando é usada de forma roliça. A secagem artificial também é conveniente e preventiva. Deve ser feito em secadoras, elimina organismos nocivos e reduz a possibilidade de ataque, principalmente de fungos.

1.6.2 Considerações sobre a madeira laminada colada

Vale lembrar que esta idéia de colar as madeiras surgiu das civilizações antigas que usavam resinas vegetais, mas que foi deixado de lado por bom tempo devido a pouca resistência e vulnerabilidade ao apodrecimento. As estruturas de madeira laminada e colada da maneira como se usa hoje em dia foram concebidas na Alemanha, em 1905, pelo Engenheiro Otto Hetzer, de Weimar, e se tornaram conhecidas na Europa como “estruturas Hetzer” ou simplesmente por “Sistema Hetzer”. São elas vigas, arcos e pórticos, de secção retangular ou em duplo T, constituídas, em princípio, de tábuas justapostas e coladas entre si. Tais estruturas foram largamente aceitas nos meios técnicos e tiveram aplicação prática já antes da primeira Grande Guerra. As primeiras construções Hetzer fora da Alemanha datam de 1909, na Suíça, 1913, na Dinamarca, 1918, na Noruega e em 1919, na Suécia. Nos Estados Unidos, a primeira estrutura laminada colada data de 1935, tendo havido expansão comercial somente depois da publicação do boletim técnico “The glued laminated wooden arch”, de T. R. C. Wilson, do Forest Products Laboratory, em 1939. Após a divulgação desse boletim oficial, principalmente das Normas Técnicas Norte Americanas, elas especificaram fórmulas, estabeleceram medidas e condições para o dimensionamento de peças estruturais e as tensões admissíveis do “Douglas fir” e “Southern pine” laminado e colado, madeiras essas da mesma classe do pinho do Paraná existente no Brasil. Devido à semelhança entre as características físicas e mecânicas destes dois tipos de madeiras usadas nos Estados Unidos para fabricação do laminado colado onde este produto é denominado “Glulam” e o enorme interesse na fabricação deste produto, são claras as possibilidades análogas do uso da nossa madeira industrialmente preparada, na fabricação de estruturas leves para construções definitivas.

As madeiras duras tipo ipê (*Tabebuia serratifolia*), cabreúva (*Myroxylon balsamum*), Gonçalo Alves (*Astronium fraxhifolium*), e aroeira (*Astronium Urundeuva*) geralmente são empregadas como elementos de ligações estruturais, enquanto que a peroba e o Pinho do Paraná mais empregado como material de resistência secundária nas estruturas definitivas e básicos nas estruturas provisórias. São produzidas pelas serrarias em bitolas comerciais, incluindo colas e resinas constituem os materiais fundamentais na manufatura de estruturas de “madeira laminada colada”, retas ou curvas, de qualquer largura e comprimento, de secção constante ou variável, aparelhadas, tratadas e prontas para a montagem.

O laminado colado sobre passa as limitações derivadas das dimensões das árvores (as dimensões comerciais de madeira serrada são muito limitadas). A adoção de colas a base de resinas sintéticas à prova d'água viabilizou e deu possibilidade a criação de estruturas mais leves na relação entre o peso e o vão nas estruturas mais convencionais como o concreto e o aço, possibilitando também formas curvas ou retas. A madeira laminada apresenta, em relação à madeira maciça as seguintes vantagens:

- a) permite peças de grandes dimensões;
- b) permite melhor controle de umidade das lâminas , reduzindo defeitos provenientes de secagem irregular;
- c) permite a seleção da qualidade das lâminas situadas nas posições de maiores tensões como por exemplo no meio dos vãos;
- d) permite a construção de peças de eixo curvo, muito convenientes para arcos, tribunas, cascas, superfícies parabolóides etc.

A desvantagem mais importante na atualidade das madeiras laminadas é o seu preço, mais elevado que o da madeira serrada, devido ao fato de que só existe uma fábrica desta tecnologia no Rio Grande do Sul, acarretando um incremento do custo devido ao transporte. Entretanto em termos econômicos devemos considerar o custo-benefício que esta tecnologia pode trazer em termos de durabilidade, resistência, rapidez, redução do volume de material usado, que torna esta tecnologia viável.

As operações fundamentais que caracterizam a tecnologia de fabricação de peças estruturais de madeira laminada e colada são:

- a) *secagem das tábuas*: estabiliza a madeira e dá mais resistência a flexão, que no caso do pinho-do-paraná é da ordem de 3,5% por grau de secagem, no intervalo de 20% a 10% de umidade;
- b) *preparo das longarinas*: aplainadas até a espessura uniforme e replainadas com perda máxima de 10% na espessura e com tolerância de 0,1 mm de variação de espessura;

- c) *colagem*: aplicar resina sintética em ambas as faces depois prensado por meio de sargentos, parafusos e em certos casos por sistemas hidráulicos e pneumáticos);
- d) *acabamento*: conferir a mesma largura das peças e bom acabamento;
- e) *tratamento preservativo e ignífugo*: aplicação de preservativos oleosos para aqueles expostos ao intemperismo e salinos para os que estão sujeitos a ação lixiviante da água.

A madeira laminada e colada é um produto estrutural, formado por associação de lâminas de madeira selecionada, coladas com adesivos prova d'água. As fibras das lâminas têm direções paralelas. A espessura das lâminas varia em geral de 1,5 cm a 3,0 cm, podendo excepcionalmente atingir até 5 cm. As ripas podem ser emendadas com cola nas extremidades (se trabalhar à flexão aconselha-se a junta por chanfro com a relação 1:7 para partes retas 1:12 para partes curvas) formando peças de grande comprimento. Antes da colagem as lâminas sofrem um processo de secagem em estufa, que demora de um a vários dias, conforme o grau de umidade inicial. A madeira sai da estufa com uma umidade de cerca de 12%. As especificações limitam a variação do grau de umidade das lâminas entre si, não devendo ultrapassar 5% na ocasião da colagem, a fim de controlar tensões internas devidas à retração diferencial (PFEIL,1994).

1.7 Sobre o Projeto, o Uso da Madeira e os Problemas Mais Frequentes

Um projeto é criado a partir de uma convergência de dados mensuráveis, segundo um processo sistemático de trabalho. Essa premissa é, portanto, o que perseguiremos ao longo deste trabalho. Algumas obras publicadas sobre o tema da madeira ou mais pertinente ao objeto de estudo desta pesquisa que é o projeto e a durabilidade da madeira nos apontou certos métodos e conceitos que foram úteis para a definição dos procedimentos na abordagem das edificações ou dos casos estudados.

Os quatro aspectos, quais sejam, a simplicidade, a eficácia no funcionamento e a montagem, são outros tantos interesses encontrados com o desejo de reduzir ao mínimo o custo dos materiais. Porque se escolhermos o material mais barato para cada tarefa separada, não teremos necessariamente simplicidade nem eficácia ótima nem

materiais que possam ser montados facilmente. Se for atribuído um valor negativo a relação que corresponda ao conflito entre qualquer dois aspectos, e valor positivo a relação que resulte num bom acordo entre eles, podemos ver que mesmo este problema tão simples apresenta o conflito de cinco tipos de relações que cada aspecto pode ter na continuidade afim de solucionar este impasse sobre estas inter-relações (ALEXANDE, 1966).

O autor define projeto como sendo o resultado da combinação dos aspectos simplicidade, eficiência, montagem (ou produção), e a economia, que configuram um contexto que deverá ser observada para se conseguir uma boa forma.

A simplicidade se consegue quando não diversificamos demasiadamente os materiais, assim sendo o uso da madeira possibilita esta opção de projeto, no caso de outros materiais fica mais incoerente se houver padronização de materiais nos elementos construtivos. Poderá ser mais simples a sua utilização em conjunto mas haverá problema devido a outras razões como conforto e economia por exemplo.

A eficiência é o resultado complementar quando os demais aspectos estão bem resolvidos. No caso da madeira existe uma necessidade de que a sua utilização seja harmônica e equilibrada. De tal forma que a adaptação de uma edificação através do seu projeto na concepção de cada parte esteja bem adaptada ao seu meio para evitar conseqüências prejudiciais ao material e a edificação. Quando a madeira está sujeita as variáveis ambientais como a água, o sol, o vento, os microorganismos, e ao fogo a eficiência será alcançada quando estes fatores ambientais ao se combinarem com as variáveis da obra, que são os componentes construtivos das edificações estudadas resultarem numa situação favorável.

A economia, um dos objetivos e uma das metas a ser alcançada, pressupõe um planejamento e um controle de todas as etapas de uma obra. Quando se trata de madeira, os procedimentos de todas as etapas desde o plantio das árvores até a aplicação das peças de madeira nas obras, passando pela produção das peças e pelos processos de montagem, devem estar bem racionalizados. Dessa forma, objetivamente, a economia é um componente que se associa a eficiência, a montagem dos componentes e a simplicidade.

O conhecimento desta forma de análise serviu-nos como subsídio para a criação de um processo de análise próprio. Confrontaremos dois grupos de variáveis as

ambientais com as construtivas, onde qualquer variável de um grupo se combina com todas as variáveis do outro grupo.

Outros conceitos úteis para definição dos critérios que estão estabelecidos nesta pesquisa embora com outra nomenclatura são as definições de forma e contexto. Um projeto que atenda de maneira mais consequente aos objetivos propostos é aquele que integra melhor a forma com o seu contexto. No livro *“Ensayo sobre la síntese de la forma”*, no capítulo *“Eficácia do ajuste”*, o mesmo autor citado antes diz o seguinte:

A forma é a solução para o problema; o contexto define o problema. Em outras palavras, quando falamos de desenho, o objetivo real da discussão não é só a forma senão o conjunto que compreende a forma e o seu contexto. O eficaz ajuste é uma propriedade desejável deste conjunto que a relaciona com alguma divisão particular do conjunto em forma e contexto (ALEXANDE, 1966).

Como modelo para esta pesquisa, a forma significa a maneira como foram projetados os componentes da edificação. E o contexto é todo o ambiente em que esta forma está inserida, mas para que a pesquisa se torne objetiva e delimitada escolhemos os fatores do meio ambiente como, por exemplo, a água o sol os ventos os microorganismos e o fogo que mais interferem na forma construída, tendo em vista o critério de durabilidade.

Quando a forma se relaciona bem com o contexto, quer dizer que o projeto está bem ajustado, isto é, há entre eles um “ajuste eficaz”. Como está sendo verificado nos casos estudados, essa interface entre o que foi construído e o contexto em que os mesmos estão inseridos, na verdade, analisa se existe um ajuste eficaz entre os componentes de madeira das edificações e os fatores ambientais mais causadores de impactos.

Quanto à NBR 7190 (1997), da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, existe já a preocupação com relação à preservação. No seu anexo D, nas “Recomendações sobre a durabilidade das madeiras”, ela define os padrões para as diferentes classes de umidade, e traz parâmetros e princípios a seguir “Recomenda-se que no projeto de estruturas de madeira seja considerada a durabilidade do material, em virtude dos riscos de deterioração biológica”. Sobre a umidade, a norma estabelece: “O risco de deterioração depende do teor de umidade da madeira e da duração do período de umidificação”.

Quanto às exigências dos órgãos públicos no cumprimento desses determinantes definidos na norma e se existe algum tipo de controle por parte deles, e ainda

como são feitas as aferições e constatações acerca daquilo que a norma estabelece verificou-se na Administração Regional do Plano Piloto de Brasília junto à DRAEP – Divisão Regional de Aprovação e Execução de Projetos, que o único requisito para aprovação dos projetos com relação a questão da durabilidade em obras de madeira é somente quanto ao risco de incêndio. Neste caso é exigido que haja anuência do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal para definir o tipo de sistema de prevenção contra incêndios que deverá ser usado.

Quanto à literatura existente sobre o assunto, na aplicação da madeira de forma conveniente nas construções são poucos os autores que tratam de forma objetiva o assunto da durabilidade em projetos de arquitetura em madeira. Normalmente, os temas relativos a durabilidade estão desmembrados em questões específicas, embora bastante detalhada, que aborda a questão da secagem da madeira, como os trabalhos do IBAMA, ou outras questões detalhadas sobre os agentes biológicos destruidores da madeira, também do IBAMA, ou publicações que falam especificamente incêndio em obras de madeira. Mas oportunamente dando enfoque mais direto sobre a importância do projeto encontra-se a sugestão:

Segundo que a experiência seja conclusiva ou não, é conveniente minorar a umidade do meio no qual se encontra a obra sem proteção, na medida que seja possível. Neste sentido convém colocar as vigas protegidas da intempérie; tem que permitir a aeração, não fechar os elementos da estrutura em lugares desprovido de ar, não colocar as vigas em contactos umas com as outras, se é possível, de maneira que todas as superfícies fiquem arejadas e possam secar-se, as uniões não devem está perto do solo e do nível da água (JOHNSON,1973)

E assim falando de obras projetadas em madeira, com relação a outros caminhos diferentes dos abordados nesta dissertação e, portanto, considerados alternativos, no caso extremo de que qualquer solução em nível de projeto seja inacessível o mesmo autor recomenda:

Se a experiência demonstra que o apodrecimento é particularmente terrível, não basta com a aeração e a pintura para assegurar uma proteção eficaz, aí se tem que estudar medidas complementares, como o recobrimento e a aplicação de tratamentos preventivos (JOHNSON,1973).

Esse autor tem uma abordagem sobre a deterioração da madeira bastante abrangente, tratando o problema de forma multifacetária, convergindo para os objetivos desta dissertação. O livro “*Deterioro, Consevacion y Reparos*”(1973) aborda desde a questão

preventiva como uma ação que se pode conseguir por meio do projeto até as diferentes medidas patológicas para construções dirigidas a madeira. Recomenda o autor:

Os detalhes devem ser projetados corretamente. E foi assinalada a necessidade de que a estrutura esteja ventilada. Tão importante como isto é que os elementos sejam acessíveis, para que se possa inspecionar e dar manutenção. Em geral, uma construção de madeira não pode ser um recinto fechado, deixado a mercê da natureza. É importante que se possa inspecionar. Uma infiltração pode causar danos graves, e a ação dos insetos pode ser praticamente invisível, porém acarretar sérias conseqüências. Por esta razão tem-se que prevê que trabalhos de recuperação vão ser necessários, e dispor os acesos correspondentes (JOHNSON, 1973).

O trabalho de Kropf (2000) é relevante para o desenvolvimento desta pesquisa, pois existem poucos trabalhos nesta linha de estudo da questão da durabilidade sob a ótica do projeto executivo. Com enfoque direto e crítico sobre o tema evidencia o seguinte:

[...] a durabilidade da madeira passou a ser alcançada através de preservação química de toda a seção transversal das peças e, mais uma vez, o projeto foi sendo negligenciado. Em certos casos, poucos anos de exposição foram suficientes para o aparecimento de sintomas de deterioração, pois as concentrações de preservativos nem sempre foram suficientes para impedir a proliferação de fungos (KROPF, 2000).

Mais adiante, enfocando com maior visão tecnológica, no item “*detalhamento de projeto um requisito essencial para durabilidade*”, o mesmo autor escreve:

As construções de madeira têm a grande vantagem de que praticamente qualquer elemento pode ser reparado ou substituído condição impensável para estruturas de concreto. Mesmo como uma simples troca de peça pode constituir uma árdua tarefa, é preferível evitar a reposição através da proteção dos elementos estruturais mais importantes. É a isso que se refere o adequado detalhamento de projeto (KROPF, 2000).

A problemática básica a que está sujeita a madeira sob o aspecto da preservação é a questão do seu apodrecimento, devido à ação dos fungos e está relacionado a fenômenos climático-meteorológicos isoladamente ou em conjunto. Quando aumenta a quantidade da água, os fungos se desenvolvem rapidamente, até que o volume de água residual (umidade de equilíbrio = 20% no máximo, no caso da madeira seca ao ar livre) faz-se insuficiente e então a ação dos fungos se interrompe.

Outro problema são os ataques que a madeira padece pelas espécies danosas de insetos, como os térmitas (cupins), formigas, abelhas carpinteiras, coleópteros, besouros e

ainda brocas de mariposas. O ataque dos xilófagos marinhos nos portos é um problema preocupante em todas as cidades portuárias em todo o mundo.

Uma questão grave para solucionar é o problema do fogo. Um incêndio pode ter diferentes causas: instalações elétricas mal colocadas, descargas atmosféricas, proximidade de componentes construtivos da obra com locais de incidência de fogo como, por exemplo, fogão, lareira e churrasqueira. Esse tipo de fatalidade, nas obras de madeira, está geralmente relacionado ao descuido que pode acontecer em qualquer obra. Salienta-se que existem dispositivos técnicos construtivos que impedem a propagação do fogo, como películas antifogo, além de soluções de projetos para obras de madeira que permitam uma independência das partes de uma construção (muito usada nos EUA para obras em painéis de madeira).

2 METODOLOGIA E ELEMENTOS DE ANÁLISE – ESTUDO DE CASOS

2.1 Processo de Análise – Variáveis de Análise, os Parâmetros e as Metodologias das Propostas

O processo de análise se dará de forma factual, ou seja, serão coletadas informações advindas do próprio desenho arquitetônico dos edifícios. Onde confrontamos as situações encontradas nas edificações consideradas como casos de estudo com os detalhes de arquitetura adotado. Será examinado a adequação ou inadequação dos detalhes arquitetônicos, face ao processo de degradação das edificações, como método de verificação. E serão propostas correções de projeto para os casos estudados

As obras de madeira estão sujeitas a degradação quando expostas às intempéries. Esta degradação pode ocorrer de forma geral ou particular. A degradação generalizada ocorre quando os problemas não foram sanados a tempo acumulando-se de tal forma que não se consegue detectar mais a sua causa e nem saber como iniciou o problema. No caso de considera-se a edificação destruída por inteiro deve-se usar outro método que não seja a análise sobre a obra, mas sim sobre a concepção e os detalhes do projeto arquitetônico que foi elaborado antes. Afim de prever as possíveis intervenções dos agentes naturais . Caso não haja o projeto, fotografias anteriores ajudam a saber a origem dos problemas,. A degradação quando ocorre de forma particular geralmente inicia-se por algum detalhe de arquitetura localizado em algum componente construtivo. É este direcionamento que iremos seguir nos casos a serem analisados¹. Os detalhes arquitetônicos expostos às intempéries estão conseqüentemente sujeitos aos impactos da degradação. São considerados como os principais **efeitos ou impactos** os seguintes: a) contração, b) retração, c) inchamento, d) fendas longitudinais, e) água nas fendas, f) aprofundamento das fendas, g) permanência de umidade, h) desenvolvimento de fungos, i) deterioração interna, j) perda de resistência. Onde podemos definir: a) contração como sendo a deformação devido à secagem não criteriosa e(ou) ao corte

¹ Somente um dos casos é que a situação da madeira agravou-se de forma extrema em alguns pontos, mas como os primeiros levantamentos acorreram antes de os elementos deste prédio chegasse ao estágio avançado de destruição, é possível analisá-lo por meio desse processo que está sendo apresentado e, além disso, existem fotografias comprovando o estágio inicial do problema.

incorreto da peça de madeira bruta, fazendo com que as fibras se contraíam de maneira desigual, anulando a precisão prevista para certos detalhes de arquitetura, b) a retração é a mudança de dimensões da madeira devido a ação dos raios solares mais especificamente aos raios ultravioletas, tende a criar gretas, afrouxar os parafusos e encaixes, provocando também a perda de resistência, c) o inchamento é o oposto da retração, ocorre devido ao aumento do volume em consequência do aumento do teor de umidade da madeira, fazendo com que aumente os poros que existem na madeira majorando o impacto da luz solar (raios ultravioletas), o inchamento, conjugado com a retração provoca defeitos nas peças de madeira, é devido a estes e outros efeitos que a madeira é considerada um material anisotrópico, que quer dizer está sujeito a um comportamento diferente em cada uma das direções radiais, tangenciais e longitudinais, d) as fendas longitudinais são assim chamadas porque estão no sentido das fibras. Surgem quando a parte externa fica mais seca do que a interna, criando um diferencial de umidade, (quando a superfície atinge umidade inferior ao ponto de saturação das fibras, devido à secagem natural, antes que a parte interna, pode provocar rachaduras nas superfícies e nos extremos das peças), e) as águas nas fendas podem fazer aumentar ainda mais a desigualdade do teor de umidade entre a parte interna e a superfície porque a água passa a evaporar mais rápido na superfície, provocando retração na superfície, aumentando ainda mais estas fendas, f) o aprofundamento das fendas ocorre de forma mais acentuada devido ao inchamento da madeira ao receber água, acarretando junto com a degradação das fibras uma perda de resistência total da peça afetada, g) a permanência da umidade faz surgir uma proliferação de fungos num estágio inicial, em seguida a inevitável podridão das peças, a principal causa da permanência de umidade são as fendas profundas ou a utilização de madeiras muito permeáveis em locais onde não há um mínimo de insolação, h) o desenvolvimento de fungos ocorre com a permanência da umidade, na faixa de 40% a 75% de teor de umidade da madeira, o desenvolvimento de fungos também está relacionado com a temperatura, entre 25°C e 30°C, que é a situação ideal para a sua reprodução, mas eles se desenvolvem entre 0°C e 40°C, i) a deterioração interna é devido à ação dos agentes biológicos como fungos, cupins, insetos, etc., j) a perda de resistência é devido à deterioração pronunciada.

Será considerado como método de levantamento os aspectos físicos, constatados por meio de observação direta ou verificação “*in loco*”, com a utilização dos recursos auxiliares de desenhos dos projetos e fotografias das obras. Para se constatar o estado de degradação da madeira que comprometa a edificação. Isso quer dizer que através de uma

análise sobre a condição que a madeira está colocada mostrar que num projeto de madeira mal concebido favorece o surgimento dos efeitos como os que estão nomeados acima. E assim poder concluir quais são as situações favoráveis e quais as situações desfavoráveis em termos da durabilidade para a solução dos detalhes construtivos projetados.

As variáveis de análise situam-se em dois campos distintos, um relacionado ao meio ambiente e o outro relacionado ao projeto do edifício. No primeiro estão os agentes naturais que aqui se chamará de fatores ambientais classificados como: chuva, insolação, ventos, agentes biológicos e o fogo. No outro estão os elementos construtivos que inserem os detalhes arquitetônicos do edifício, estes elementos construtivos são classificados como: estrutura, vedações, piso e cobertura. As informações dos dois campos distintos serão cruzadas, de maneira que todos os fatores ambientais estão relacionados com cada um dos elementos construtivos, e todos os elementos construtivos estão relacionados com cada um dos fatores ambientais.

Os **fatores ambientais** não agem isoladamente e sim de forma *interdependente e conjunta*. Mais adiante conceituaremos melhor estes fatores. Nos casos estudados verificou-se uma grande influência destes fatores sobre os elementos construtivos. Estes estão definidos e caracterizados da seguinte forma:

a) Chuvas – A água que sujeita a madeira nas construções é principalmente a água da chuva, mas se entende que existe a água servida, que vem de uma intervenção no interior da edificação, devido a uma ação humana, que será levada em conta quando esta estiver afetando a durabilidade de algum dos edifícios estudados. Por ser um material higroscópico, que tem a característica de tomar e ceder umidade, a madeira é extremamente sensível à ação da umidade.

A água da chuva pode agir conjuntamente com os outros fatores ambientais como o sol, o vento e os biológicos. As águas servidas podem causar danos em áreas molhadas como banheiros e cozinhas sujeitando também a madeira à presença de fungos apodrecedores. Nos quadros de análises do item 3.3. estão descritos os efeitos da água sujeita aos agentes internos e aos externos, ou seja, da ação dos seus usuários e da ação resultantes dos agentes naturais (fatores ambientais).

b) Insolação – A incidência dos raios solares, mais ou menos direta, depende da orientação do edifício e do posicionamento das peças de madeira.

Raios solares muito fortes como os raios ultravioletas são prejudiciais aos elementos de madeira, porque destroem a lignina que é o componente essencial da madeira, que faz com que as fibras permaneçam unidas, garantindo ao mesmo tempo a rigidez e a elasticidade natural dos materiais vegetais.

c) Ventos – Os ventos provocam abrasão pelo seu próprio efeito mecânico além de outro tipo de abrasão provocada também pelas partículas sólidas que costumam existir nos ventos fortes. Outras conseqüências causadas pelo vento é a condução do SO₂ (óxido de enxofre) existente na atmosfera proveniente da queima de florestas, da queima de combustíveis fósseis e do gás que é exaurido das indústrias que, quando atinge as peças de madeiras, provoca o seu amolecimento superficial. E ainda a água das chuvas que pode ser levada de forma conseqüente e constante para as peças de madeira. Por isso é desaconselhável a exposição da madeira em confronto com os ventos. Todavia, a ventilação é benéfica quando contribui para o arejamento e secagem das peças de madeira.

d) Fatores Biológicos – Os microorganismos são seres vivos destruidores da madeira, e agem principalmente porque a madeira é um material orgânico que serve de alimento ou alojamento para estes microorganismos. Os mais conhecidos são: 1) fungos xilófagos, 2) insetos xilófagos tais como: cupins, brocas, caruncho, besouros, formigas, abelhas carpinteiras, 3) perfuradores marinhos tais como: moluscos e crustáceos. Os fungos xilófagos são microscópicos, e se dividem em: emboloradores (responsável pelo bolor), manchadores (também chamados de mancha azul, provocam manchas profundas) e apodrecedores (progressiva destruição das moléculas da madeira). O segundo grupo de biodeterioradores comuns são os insetos visíveis, embora podem ser facilmente confundidos por expelirem resíduos parecidos de peças atacadas, mas pertencem a ordens distintas de insetos xilófagos. O terceiro grupo ataca construções em contacto com o mar ou água salobra comprometendo a durabilidade da estrutura de madeira.

e) Combustão – O fogo não é um problema maior para as construções de madeira do que para quaisquer outras construções, quando não são tomadas as medidas cabíveis para a prevenção contra incêndios.

A vantagem de uma obra de madeira em relação ao fogo é a sua previsibilidade. Isso quer dizer que se pode perceber visualmente o instante em que a estrutura irá entrar em colapso e desabar. Com o aço, por exemplo, isso não é possível perceber porque não se pode ver o processo de combustão progredir no mesmo. Ele esquenta até chegar a um superaquecimento e derreter (escoar). No caso do concreto também é difícil prever o colapso já que o aço das armaduras sofrerá os efeitos do incêndio semelhante a uma estrutura metálica.

O segundo campo de variáveis de análise são os **componentes construtivos**. Eles são os componentes básicos de qualquer edificação e pode ser classificado como: a) *Estrutura* (fundações visíveis, pilares, vigas, pórticos, peças auto-portantes, escadas), b) *Vedações* (paredes, painéis, janelas, portas, guarda corpos, etc), c) *Piso* (tablados, barrotes, acabamentos, *decks*), d) *Cobertura* (vigas, vigotas, terças, caibros, forros, platibandas, etc.).

A madeira, por ter a vantagem de ser um material orgânico e renovável, necessita de cuidados e discernimentos, na definição, e no desenho das forma dos elementos construtivos. Estes devem ser concebidos coerentemente, visando a preservação do material, quando ocorrer a inevitável confrontação com aos fatores ambientais mencionados. É bom salientar que as vantagens também determinam limites e critérios na sua utilização. O que existe com relação aos procedimentos no emprego da madeira é uma média de valores como em qualquer edificação.

As situações analisadas que ocorrem nos detalhes arquitetônicos, que fazem parte dos elementos construtivos das obras, serão julgadas por meio de uma avaliação qualitativa onde são estabelecidos os seguintes **critérios**: satisfatório, e insatisfatório, e neutro para a condição dos detalhes abordados. Satisfatório quer dizer que o detalhe foi bem resolvido e por isso pode ser um detalhe adequado na arquitetura do prédio, para suportar a ação dos fatores ambientais (variáveis de análise). Insatisfatório quer dizer que o detalhe, mesmo podendo estar bem resolvido geometricamente e em termos estruturais, com uma solução harmônica garantindo uma unidade arquitetônica, pode ser um detalhe inadequado na arquitetura do prédio, para suportar a ação dos fatores ambientais. Neutro será incluído como um parâmetro quando ocorrer situações onde os elementos construtivos não sejam de madeira.

Será adotado um quadro para melhor destacar o confronto entre aqueles fatores ambientais (variáveis de análise) e os detalhes arquitetônicos compostos nos elementos construtivos dos edifícios analisados. Numa primeira etapa se adotou um sistema de cruzamento de dados entre as variáveis de análise relativas ao edifício que são os elementos construtivos dos projetos e as variáveis de análise do meio ambiente que são os fatores ambientais. Dispostos num quadro para funcionar como uma matriz, onde todos os elementos construtivos combinam com todos os fatores ambientais. Como pode ser observando nos quadros 1, 2, 3 e 4 na primeira linha horizontal estão assinalados os fatores ambientais considerados, e na primeira coluna vertical os elementos construtivos das edificações analisadas. As avaliações qualitativas (critérios) estarão assinaladas no espaço localizado no cruzamento das duas listas de variáveis, assim todas as variáveis ambientais se confrontam com todas as variáveis construtivas, e vice-versa. Numa segunda etapa, na qual será feita a análise propriamente dita. Pesquisar e detectar os problemas de durabilidade apresentados nas peças de madeiras dos elementos construtivos, apontando as suas causas relacionadas com a concepção do projeto e seus detalhes arquitetônicos. E apresentar um diagnóstico correspondente a cada cruzamento de variáveis que serão produto dos 5 (cinco) fatores ambientais adotados, com os 4 (quatro) elementos construtivos, dando uma total de 20 (vinte) análises para cada quadro, correspondente a cada caso estudado.

As **propostas** apresentadas no âmbito dos projetos analisados (casos de estudo), é uma solução de desenho que esteja mais bem adaptado às condições ambientais. E num âmbito geral são como recomendações a nível de desenho para situações mais padronizadas e gerais.

Com relação à concepção das propostas, essas serão idealizadas para atender em todos os níveis ao principal requisito que é a garantia da sua durabilidade sobre peças de madeira. Sem que tenham que ser necessariamente a única solução para cada situação mostrada, mas apenas mostrar uma solução que surge ao sabor do contexto, ao se integração da função com o meio ambiente.

O contexto para o qual o redesenho dos detalhes problemáticos são elaborados visa colocar a madeira numa condição mais bem adaptada em relação aos fatores ambientais. Isso não quer dizer que os arquitetos que projetaram estas edificações que são estes casos estudados não tenham pensado na preservação da madeira que foi aplicada nas

obras. O que ocorre é que as previsões são determinadas em termos da responsabilidade técnica do profissional habilitado perante aos órgãos fiscalizadores somente com relação a vitalidade das estruturas considerando os riscos de desabamentos e defeitos, legalmente por cinco anos. Sem que haja nenhuma imposição legal sobre a questão da durabilidade sob o ponto de vista de sua inadaptação ambiental. E ainda a norma oficial sobre as estruturas de madeira trata a questão da durabilidade de forma subjetiva, sem definir com precisão qual é o tempo que a madeira deve ficar exposta às condições adversas. Além disso, as conseqüências dos efeitos causados pelos fatores ambientais são previstas na maioria das vezes tendo como base situações que já ocorreram, e que ocorreram de modo geral com outras edificações de madeira. Mas as situações dos contextos futuros são imprevisíveis, e o intervalo de tempo em que as mesmas de darão também. Por isso a melhor medida são as soluções plenas dos detalhes construtivos precavendo-se de forma incondicional em relação aos contextos onde há fatores ambientais com ação direta sobre o material.

2.2 Descrição das Principais Características das Espécies Existentes nos Casos Estudados

a) Nome científico: *Araucaria angustifolia* (Bert) Kuntze.

Nomes populares: parana-pine, curi, curiúva, **pinheiro-do-paraná**, pinheiro, pinho, cori, pinho-brasileiro, pinheiro-brasileiro, pinheiro-são-josé, pinheiro-macaco, pinheiro-caiova, pinheiro-das-missões

Características morfológicas: 20-50m de altura, com tronco retilíneo, de 90 –180cm de diâmetro. Folhas coriáceas, glabras, agudíssimo-pungentes, de 3-6cm de comprimento. A árvore jovem tem forma piramidal e bem diferente da adulta apresentada na foto acima. É uma planta dióica, isto é possui plantas femininas e plantas masculinas em pés diferentes.

Ocorrência: Minas Gerais e Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul em regiões de altitudes acima de 900m (no sul, acima de 500m).

Madeira: Leve (densidade aparente 0,55 g/cm³), macia, pouco durável quando exposta ao tempo.

Utilidade: A madeira é própria para forros, molduras, ripas, para confecção de cabos de vassoura, caixotaria, brinquedos, estrutura de móveis, palitos de fósforos, pás de sorvete, lápis, carretéis, utensílios domésticos, etc. É amplamente cultivada no sul do país para produção de madeira e pasta celulósica. Seu fruto “pinhão” é comestível e muito apreciado no sul do país. A árvore é extremamente ornamental, podendo ser empregada no paisagismo. Os frutos são avidamente consumidos por várias espécies da fauna; uma ave, a gralha azul, ao esconder os frutos no solo para posterior consumo, acaba involuntariamente contribuindo decisivamente para a disseminação dessa espécie.

Informações ecológicas: planta perenifólia, heliófita, pioneira, característica de regiões de altitude onde forma as chamadas “matas de pinhais”. Ocorre geralmente na forma de agrupamentos quase homogêneos, dominando completamente o dossel superior. Em seu sub-bosque ocorrem espécies arbóreas de menor porte.

Obtenção de sementes: recolher as sementes no chão após sua queda das árvores femininas. Um quilograma de sementes contém aproximadamente 150 sementes. Sua viabilidade é gradualmente diminuída após sua colheita, reduzindo-se totalmente em 120 dias.

Produção de mudas: colocar as sementes para germinação logo que colhidas diretamente em recipientes individuais. A emergência ocorre em alguns dias e, a taxa de germinação é alta com sementes novas. O desenvolvimento das mudas e das plantas no campo é lento (LORENZI, 1998).

b) Nome científico: *Eucalyptus citriodora* (Hook).

Sin. *Eucalyptus maculata* var. *citriodora* (Hook) L.H. Bailey

Nome popular – eucalipto-limão

Características gerais – árvore perenifólia e muito aromática, de 15-30m de altura, originária da Austrália, de tronco ereto, com casca lisa e decídua, branca, cinza ou rósea, pulverulenta, com marcas rebaixadas. Ramagem longa, formando copa aberta. Folhas com forte odor de citronela, as juvenis alternas, estreitas a largo-lanceoladas, às vezes peltadas, pecioladas, hirsutas, de margens onduladas, às vezes arroxeadas na face de baixo; as maduras alternas, estreito-lanceoladas, às vezes falcadas, pecioladas, verde-escura em ambas

as faces, também aromáticas, de 10-20cm de comprimento, com as nervuras secundárias divergindo em 45 graus com a nervura principal. Inflorescências em panículas terminais, com 3-5 flores brancas, de botões ovóides e ápice hemisférico pontiagudo, de 7-8mm de diâmetro. Frutos (cápsulas) ovóides, deiscentes, com valvas afundadas, de cerca de 10mm de diâmetro. Sementes pratas.

Multiplificação: exclusivamente por sementes.

Usos: amplamente cultivada para reflorestamentos e para extração do óleo essencial das folhas para indústria de perfumaria e desinfetantes. Produz madeira dura, fácil de trabalhar, de cor marrom, utilizada na fabricação de móveis e em construção civil. Utilizada também na arborização de caminhos, estradas e em áreas rurais (LORENZI, 2003).

c) Nome científico: *Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nich

Nomes populares: Pau-d'arco-amarelo (PA), piúva-amarela, ipê-ovo-de-macaco (ES), tamurá-tuíra, ipê-pardo, ipê-do-cerrado, ipê-amarelo. Características morfológicas: altura de 8-20m, com tronco de 60-80cm de diâmetro. Folhas compostas 5-folioladas (eventualmente 4); folíolos glabros ou pubescentes, de 6-17cm de comprimento por 3-7cm de largura.

Ocorrência: muito freqüente na região Amazônica e esparsa desde o Ceará até São Paulo, na floresta pluvial atlântica; na região sul da Bahia e norte do Espírito Santo é um pouco mais freqüente que no resto da costa.

Madeira: pesada (densidade aparente 1,08 g/cm³) duríssima, difícil de serrar, rica em cristais de lapachol, infinitamente durável sob quaisquer condições, com alburno distinto.

Utilidade: a madeira é própria para construções pesadas e estruturas externas, tanto civis como navais, como quilhas de navios, pontes, dormentes, postes, para tacos e tábuas de assoalho, confecção de tacos de bilhar, bengalas, eixos de rodas, etc. A árvore é extremamente bela quando em flor, o que é facilmente notado na floresta amazônica durante sobrevôo. É excelente para o paisagismo em geral, o que já vem sendo largamente utilizado na floresta pluvial densa. É também largamente dispersa nas formações secundárias,

como capoeiras e capoeirões, porém tanto na mata como na capoeira, prefere solos bem drenados situados nas encostas. Sua dispersão é geralmente uniforme e sempre muito esparsa.

Obtenção de sementes: colher os frutos diretamente da árvore quando os primeiros iniciarem a abertura espontânea. Em seguida deixá-los ao sol para completarem a abertura e liberação das sementes. Um quilograma contém aproximadamente 25.000 sementes.

Produção de mudas: as sementes devem ser postas para germinar logo que colhidas, em canteiros ou embalagens individuais contendo solo argiloso rico em matéria orgânica. A emergência ocorre em 8-10 dias e, a germinação geralmente é abundante. O desenvolvimento das mudas é rápido, ficando prontas para o plantio no local definitivo em menos de 5 meses. O desenvolvimento das plantas no campo é apenas moderado.

d) Nome científico: *Aspidosperma polyneuron* (M. Arg).

Nomes populares: peroba, peroba-rosa (PR), peroba-amargosa, peroba-rajada, peroba-açu, sobro (ES), peroba-comum, peroba-do-rio, peroba-paulista, peroba-mirim, peroba-miúda

Sinonímia botânica – *Aspidosperma peroba* (Fr. All) *Aspidosperma dugandii standl*, *Aspidosperma polyneuron* (M. Arg.), Var. *Longifolium Hassl*, *Aspidosperma venosum* (M. Arg.), *Thyroma polyneura* (M. Arg.) Miers

Características morfológicas: altura de 20-30m, com tronco de 60-90cm de diâmetro. Folhas glabras, de 5-12cm de comprimento e 2-4cm de largura.

Ocorrência: Bahia até o Paraná e, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Rondônia, principalmente na floresta latifoliada semidecídua e plúvia atlântica.

Madeira: Moderadamente pesada (densidade aparente 0,79 g/cm³), dura, compacta, superfície opaca e áspera, fácil de rachar, muito durável desde que não em contato com solo e umidade.

Utilidade: a madeira é própria para construção civil, como caibros, vigas, batentes de portas e janelas, rodapés, molduras, esquadrias, tacos para assoalhos, degraus de

escadarias, para confecção de móveis pesados, carteiras escolares, folhas faqueadas, carrocerias, etc. A árvore é ornamental, podendo ser usada no paisagismo em geral. Também não deve faltar nos reflorestamentos mistos destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanente.

Informações ecológicas: planta perenifólia, esciófita, características da floresta *Latifoliada semidecídua* da bacia do Paraná, e da mata pluvial atlântica. Ocorre preferencialmente em solos profundos e férteis, situados nos espigões e nas encostas, exclusivamente no interior da floresta primária densa. Produz grande quantidade de sementes apenas a cada 2-4 anos.

Fenologia: floresce durante os meses de outubro-novembro. A maturação dos frutos ocorre nos meses de agosto-setembro.

Obtenção de sementes: colher os frutos diretamente da árvore quando os primeiros iniciarem a abertura espontânea. Em seguida levá-los ao sol para completar a abertura e liberação das sementes. Um quilograma contém aproximadamente 14.000 sementes. Sua viabilidade em armazenamento é superior a 6 meses.

Produção de mudas: colocar as sementes para germinar, logo que colhidas e sem nenhum tratamento, em canteiros ou em recipientes individuais contendo substrato organo-argiloso; cobri-las levemente com substrato peneirado e irrigar duas vezes ao dia, mantendo-as em ambiente sombreado. A emergência ocorre em 10-20 dias e, a taxa de germinação geralmente é superior a 70%. O desenvolvimento das mudas é lento, ficando prontas para o plantio no local definitivo em 7-8 meses. O desenvolvimento das plantas no campo também é lento, não ultrapassando 2,5m aos 2 anos (LORENZI, 1998).

2.3 Apresentação dos Edifícios

Foram escolhidos 4 (quatro) casos de estudo, que são edificações onde a madeira é utilizada de forma predominante ou que faça parte de elementos construtivos imprescindíveis. Os casos estudados estão localizados na cidade de Brasília, no Distrito Federal, condicionados, portanto, à situação climática local. Procurou-se escolher aplicações variadas das técnicas de madeira na construção, para verificar as conseqüências dos fatores naturais.

Quanto à escolha dos casos de estudo temos os seguintes: o prédio do “Oca II” tem sua importância histórica para a Universidade de Brasília, o prédio do “Clube Naval” é um caso relevante por ser considerado uma obra de grande porte em se tratando de madeira, o “Orquidário” pela peculiaridade de utilizar madeira bruta, um processo bastante antigo mas que convive em nosso tempo, e a “casa pré-fabricada” por ser um sistema de madeira bastante comum que se espalhou pelo País.

2.3.1 Prédio do OCA II – Comentários históricos, considerações gerais e ficha técnica

O prédio do OCA II foi construído no início da construção da Universidade de Brasília, na década de 60, junto com as outras edificações mais antigas de concreto, Sendo o primeiro prédio definitivo da UnB, esta localizado no Campus Universitário da UnB (ver Figura 16, pág. 71). Foi destinado inicialmente para a Faculdade de Arquitetura mas serviu finalmente como alojamento de professores e alojamento estudantil e, posteriormente, abrigou serviços comunitários e administrativos, além da cooperativa da universidade. Atualmente encontra-se em funcionamento neste local uma escolinha infantil no andar térreo e o serviço de segurança do campus no andar superior. Podemos ver um desenho constante no “Plano Orientador da Universidade de Brasília”, elaborado em 1962 (ver Figura 20, pág. 64), e outro mostrando uma vista interna do alojamento típico (ver Figura 21, pág. 64), projetado para este prédio.

Os prédios do tipo OCA I e OCA II foram construídos em caráter provisório em madeira com as empenas de alvenaria possuindo dois pavimentos cada um. No “Plano de Desenvolvimento Físico” elaborado pela UnB em 1975 que se encontra no CEDOC – Centro de Documentação da UnB, consta que o OCA I encontrava-se em condições satisfatória de ocupação.

A edificação do OCA II, se for restaurada, pode se tornar um exemplo de uma edificação considerada histórica da memória da UnB. Existe um certo interesse de que esta edificação venha a se tornar um museu da UnB, porém não há levantamentos detalhados para definição de custos e atuações para a concretização desta idéia. O interesse histórico desta edificação é por está inserida num contexto que representa o estágio inicial da construção de Brasília e, também da Universidade de Brasília. Sob o ponto de vista da sua

durabilidade tem uma concepção arquitetônica favorável no que se refere à possibilidade de sua restauração, pois permite uma simples substituição de peças. Além do mais a mesma espécie de madeira peroba-comum utilizada na sua construção é possível de ser encontrada.

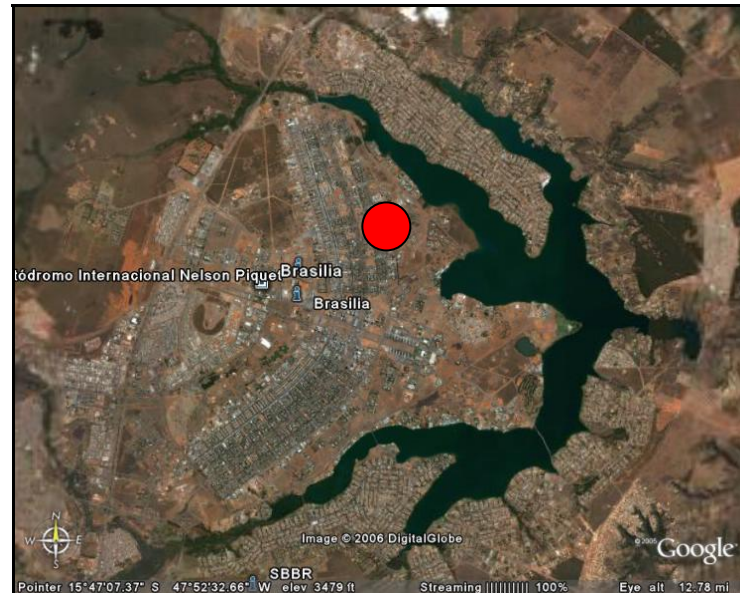


Figura 15 – Localização do prédio do OCA II em Brasília

Fonte: Google Earth, acessado no dia 7-12-2005.

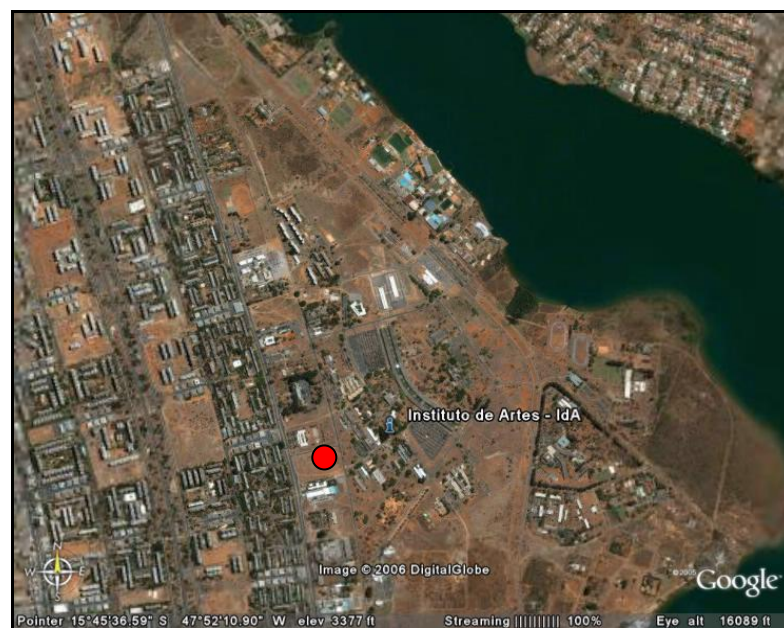


Figura 16 – Situação do OCA II dentro da área do Campus da UnB

Fonte: Google Earth, acessado no dia 7-12-2005.



Figura 17 – Implantação do OCA II no Campus da UnB

Fonte: Google Earth, acessado no dia 7-12-2005.

LEGENDA:

- 1- Prédio do OCA II;
- 2- Prédio da Faculdade de Educação;
- 3- Prédio do Multimeios.

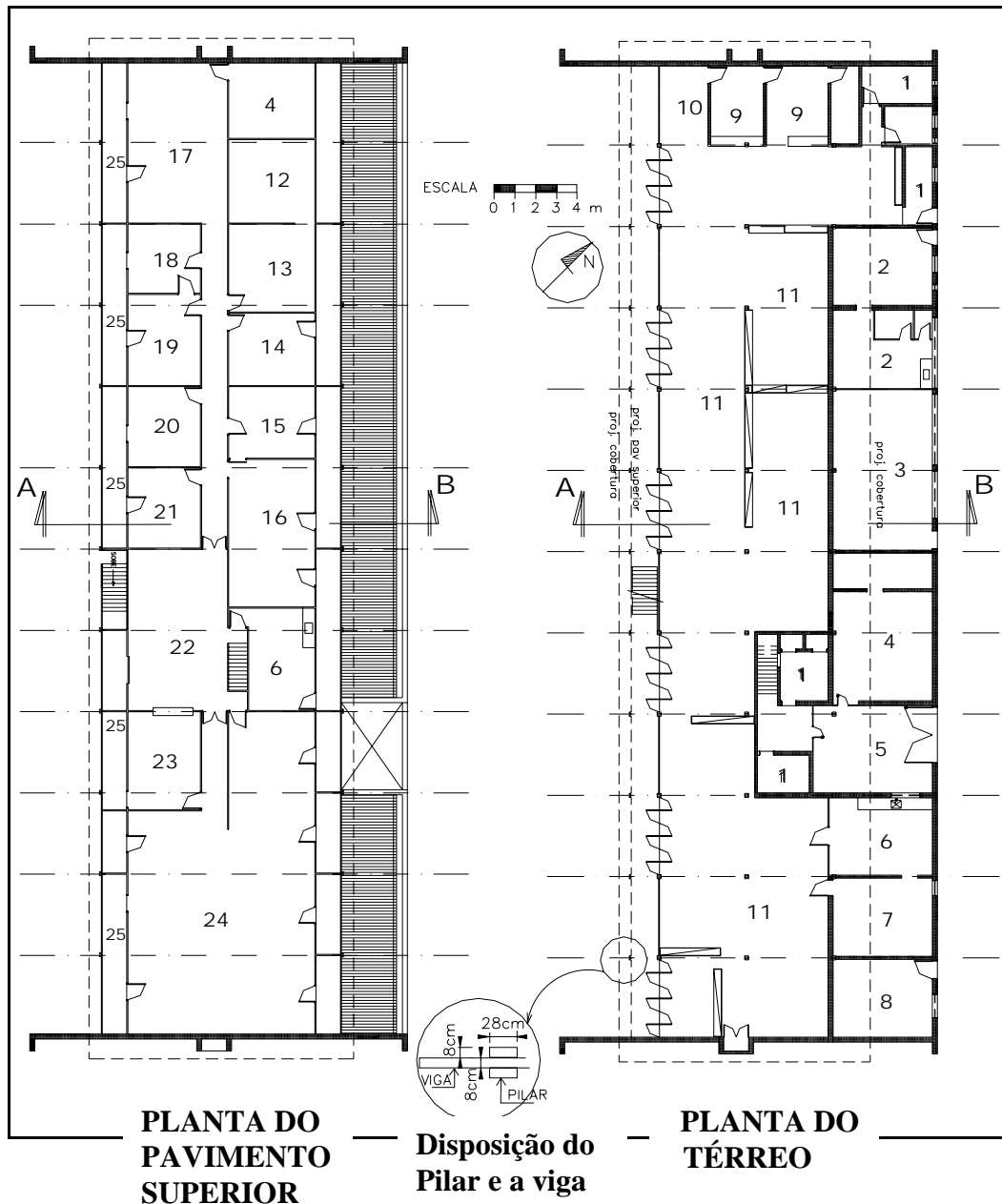


Figura 18 – Plantas simplificadas do projeto arquitetônico do OCA II (situação atual)

LEGENDA:

- | | |
|---------------------------|--|
| 1- Sanitários e banheiros | 12- Seção de proteção e combate a incêndio |
| 2- Sala de limpeza | 13- Manutenção elétrica |
| 3- Sinfub | 14- Sala de achados e perdidos |
| 4- Almojarifado | 15- Coordenação da portaria |
| 5- Garagem | 16- Sala de achados e perdidos |
| 6- Copa/cozinha | 17- Sala de reuniões |
| 7- Depósito | 18- Subcoordenação |
| 8- Escritório | 19- Coordenação |
| 9- Secretaria | 20- sala de informática |
| 10- Recepção | 21- Sala de planejamento |
| 11- Sala de aula | |

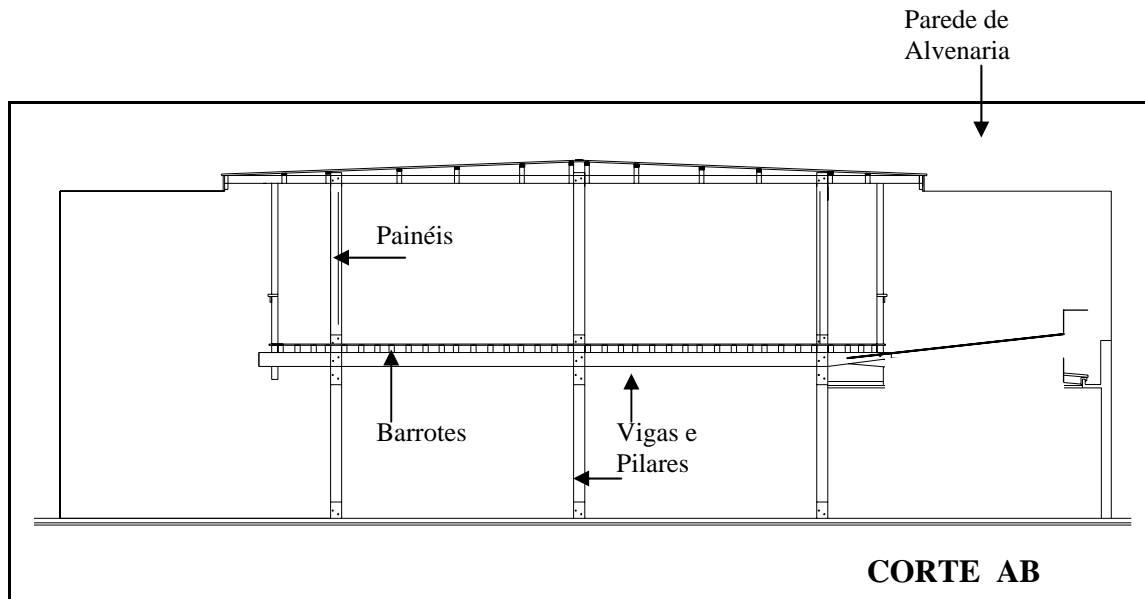


Figura 19 – Corte simplificado do projeto arquitetônico



Figura 20 – Perspectiva geral do OCA II

Fonte: Plano Orientador da UnB (1962).



Figura 21 – Projeto para os alojamentos

Fonte: Plano Orientador da UnB (1962).

Esse prédio foi projetado pelo arquiteto Sergio Rodrigues e construído pela empresa OCA, empresa do próprio arquiteto, que atuou no início de Brasília principalmente na Universidade de Brasília no setor de mobiliários em madeira. O prédio do OCAII possui 1.345m².

A edificação estudada do OCA II foi concebida dentro de uma coordenação modular, composta por 12 módulos com uma distância 4.00m de um conjunto de viga-pilar até outro conjunto de viga-pilar, o que facilitou a montagem das estruturas de madeira, bem como a instalação dos demais componentes construtivos como os pisos de tábua corrida sobre barrotes, as vedações de painéis e o telhado com telha de zinco, que estão dimensionados como submúltiplos da modulação básica dos pilares e vigas.

Neste caso estudado a estrutura foi construída em madeira peroba (*Aspidosperma polyneuron*) no sistema construtivo viga – pilar do tipo madeira prensada, com madeira maciça de grandes bitolas. As vigas e pilares são peças duplas e paralelas de 8cm x 21cm de seção em cada peça. Os pilares como peças duplas com um montante no meio, e estão em contacto direto com o piso. Existe uma descontinuidade entre os pilares do térreo e os do pavimento superior. Os pilares do segundo pavimento são separados dos pilares do térreo pelas vigas que passam e estão dispostas em duas peças lado a lado. As vigas intermediárias entre o térreo e o pavimento superior e os pilares do segundo pavimento e do térreo são unidos por uma peça única para o travamento, que colocadas entre as duas peças paralelas que constituem uma viga e as duas peças paralelas que constituem um pilar. Este montante está com as fibras disposta na vertical. Este conjunto de vigas e pilares dispostos modularmente formam estruturas parafusadas e bi apoiadas, semelhante a um pórticos que são travados entre si apenas pelo barroteamento que sustenta o piso do pavimento superior, dispostos na direção longitudinal, com barrotes de seção 7 cm x 15 cm, em madeira maciça, distanciados de sessenta centímetros entre si, sobre os quais estão assentados os pisos de tábua corrida.

As vigas de cobertura suportam um telhado leve de telha metálica seguras por tarugos de bitolas mais finas. As vedações externas e as da fachada principal do pavimento superior são constituídas de tabiques com duas folhas de compensado de 4mm com tarugos de madeira como enchimento formando paredes divisórias. As vedações do

pavimento térreo são esquadrias de ferro com venezianas na fachada principal e alvenaria nas laterais e nos fundos. Internamente, no térreo, as divisões também são com tabiques iguais aos do pavimento superior. A cobertura é uma estrutura leve com um fechamento externo com uma tábua de beira logo abaixo do beiral frontal e do beiral posterior. Esta estrutura de sustentação do telhado é coberta por telha de zinco, com uma leve inclinação para a frente e para os fundos do prédio. Na parte dos fundos, encontra-se anexo da edificação de madeira um complemento em alvenaria cujo telhado está em conflito com a estrutura da edificação de madeira causando problemas que provoca a deterioração da estrutura (ver item das análises deste caso de estudo).

2.3.2 Prédio do Clube Naval – Considerações sobre o projeto e ficha técnica

O Clube Naval de Brasília está situado no Setor de clubes Norte. Esta edificação foi construída em 1974, o projeto é do arquiteto Sergio Bernardes. Para a concepção deste projeto foi colocado como determinante a utilização de uma tipologia que não agredisse a paisagem do cerrado e que também mantivesse a vista do Lago Paranoá. Mas que mantivesse inclusive a rigidez de uma edificação de grande porte. Este prédio possui 4.750 m², estando às margens do lago (ver Figuras 22, pág. 77 e Figura 23, pág. 77). Desta forma a solução mais acertada foi a construção de uma edificação em madeira e para atender os requisitos, foi empregada a tecnologia da madeira “laminada colada” de madeira de pinho (*Araucária angustifolia*) para toda a estrutura composta pelos pilares e vigas de cobertura. Esta edificação foi a primeira a ser construída com essa tecnologia em Brasília, e até o ano 2000 era a única.

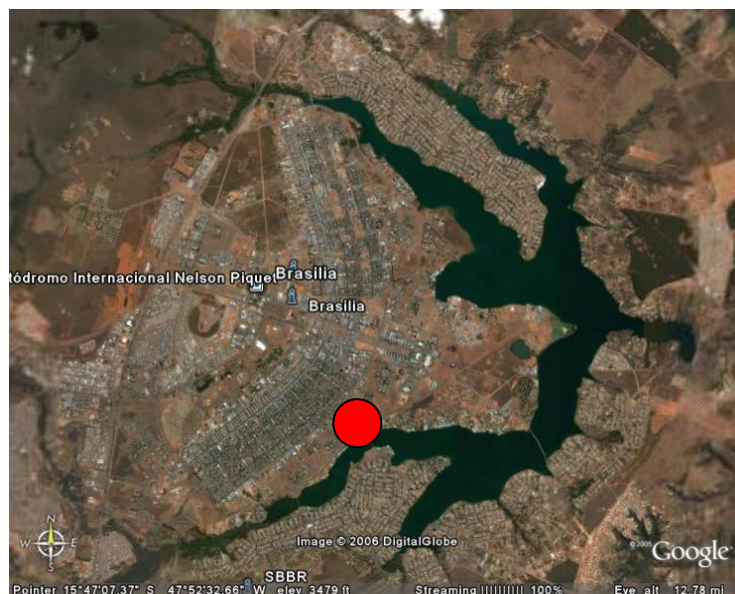


Figura 22 – Localização do prédio do Clube Naval de Brasília

Fonte: Google Earth, acessado no dia 7-12-2005.



Figura 23 – Implantação (Setor de Clubes Sul)

Fonte: Google Eart, acessado no dia 7-12-2005.

LEGENDAS:

- 1- Entrada;
- 2- Passarelas;
- 3- Sede Social

Foi usado no prédio do Clube Naval de Brasília um sistema estrutural do tipo viga – pilar onde as vigas passam horizontalmente por dentro de uma agrupamento de

quatro ou dois apoios. A disposição da estrutura segue uma coordenação modular, com vãos sempre de quinze metros no sentido longitudinal e vãos múltiplos de um metro variando no sentido transversal. Somente os pilares e as vigas são em madeira laminada colada de grande porte, os outros componentes, e no caso as esquadrias como um elemento de vedação. Esta opção de usar vãos modulados é bastante útil e eficiente quando se trata de construções em madeira, pois é mais prático para a homogeneização das peças e torna a construção mais rápida e melhor programada.

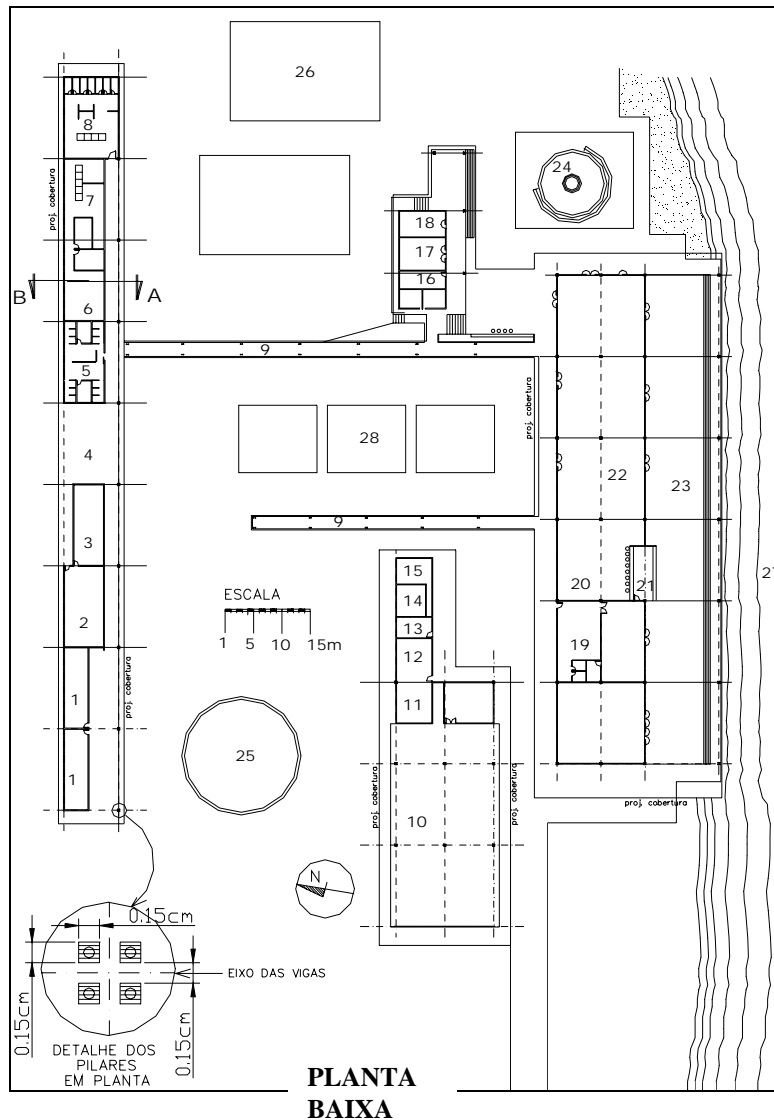


Figura 24 – Planta baixa simplificada do projeto arquitetônico

LEGENDA:

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1- SALA DE AULA | 15 - SUBESTAÇÃO |
| 2- DIRETORIA | 16- SANITÁRIOS |
| 3- SECRETARIA | 17- APOIO-JOGOS |
| 4- HALL DA ENTRADA PRINCIPAL | 18- JOGOS |
| 5- VESTIÁRIO DE FUNCIONÁRIOS | 19- COZINHA |
| 6- DESCANSO | 20- RESTAURANTE |
| 7- VESTIÁRIO FEMININO | 21- BAR |
| 8- VESTIÁRIO MASCULINO | 22- SALÃO DE FESTAS |
| 9- PASSARELA | 23- VARANDA COBERTA |
| 10- GARAGEM DE BARCOS | 24- PISCINA |
| 11- ALMOXARIFADO | 25- PISCINA INFANTIL |
| 12- REFEITÓRIO | 26- QUADRA DE ESPORTES |
| 13- DEPÓSITO | 27- LAGO PARANOÁ |
| 14- ROUPARIA | 28- ESPELHOS DE ÁGUA |

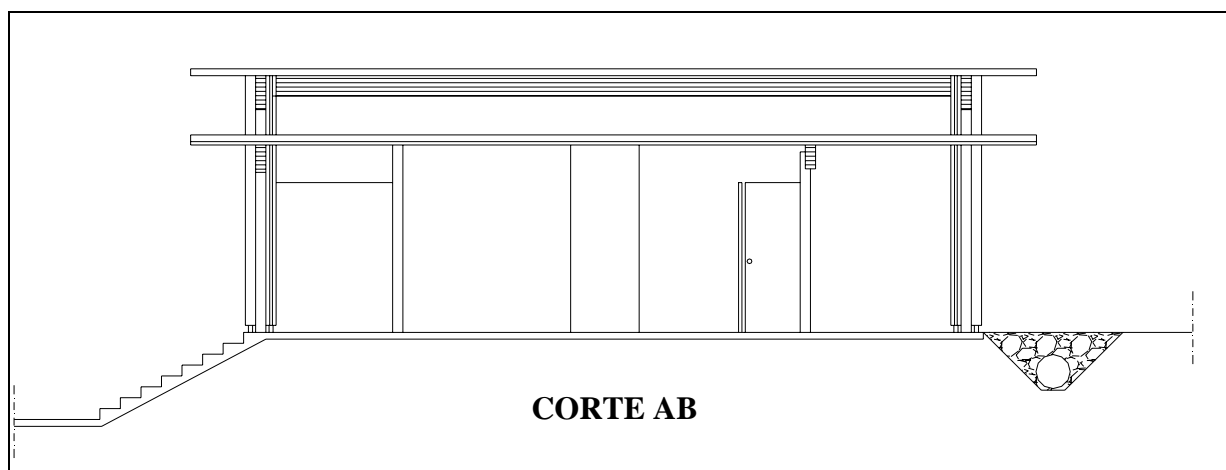


Figura 25 – Corte simplificado do projeto arquitetônico

Cada apoio possui uma seção de 10 cm x 10 cm. Um conjunto com quatro ou dois apoios forma um pilar (ver Figura 48, pág. 99). Quando as vigas estão somente no sentido longitudinal os pilares são constituídos por um conjunto de dois apoios, mas quando as vigas chegam aos pilares no sentido longitudinal e transversal os pilares são formados com um conjunto com quatro apoios. Estes pilares são distribuídos modularmente definindo os vãos ao longo da edificação. Em certos locais a viga é parafusada e em outros casos é fixa com chapas e parafusos, mas este aspecto diferenciado não interfere no objetivo das análises sobre o problema da durabilidade da madeira.

A partir da fundação de sapatas isoladas partem esperas metálicas de formato arredondado como um tubo metálico de 7,5cm de diâmetro, feito com chapa de espessura de 0,4cm. Sobre estes tubos esta soldada outra chapa metálica da mesma espessura em forma de “U” onde se apóiam os pilares de madeira laminada colada (ver Figura 45, pág. 98). São estas peças metálicas que ficam entre os pilares de madeira e o piso que impedem a subida da umidade.

As vigas são todas de mesma dimensão 10 cm x 46 cm e com vãos também iguais conforme falamos acima, e disposta de forma modulada com amplitude de vãos de quinze metros (ver Figura 28, pág. 84 e Figuras 54 e 55, pág.105). Este vigamento suporta uma cobertura relativamente leve de telhas canaletas de cimento amianto no sentido transversal a edificação.

Nas edificações do Clube Naval foi usado como madeira componente dos laminados colados o Pinho do Paraná (*Araucária angustifolia*). Esta madeira possui alto valor de tensão admissível – tem um peso específico médio, fibras regularmente distribuídas e reúne qualidades de usinagem, secagem, impregnação, pintura e colagem por isso é usada em larga escala na tecnologia de laminado colado.

2.3.3 Prédio do Orquidário – Considerações gerais e ficha técnica

O Orquidário tem a sua estrutura construída em madeira roliça de eucalipto, chamada também madeira bruta. O prédio é quase totalmente construído em madeira, com exceção das jardineiras internas que são de alvenaria, as vedações transparentes laterais e da cobertura das duas extremidades, que são de telas sombreadoras, e a cobertura dos dois vãos centrais que é de telha cerâmica do tipo colonial. As estruturas parafusadas composta de vigas e pilares em forma de cavalete localizados nos vãos centrais nas duas laterais maiores estão unidos entre si por vigas também roliças, e servem para sustentar o mezanino (ver ficha técnica). Na arquitetura do prédio do Orquidário verifica-se uma amplitude interna característica das edificações destinadas ao uso típico de estufas ou “invernadeiros”, com o pé direito de uma altura aproximada de 8 m ao longo de toda a sua extensão, tendo o aspecto de galpão. Internamente existe um mezanino que se prolonga para o exterior, com acesso através de uma escada circular central. Estes elementos não são comuns dentro das estufas, mas como este prédio possui também uma função de mostruário de espécies vegetais (orquídeas) para que sejam observadas pelo público além da finalidade exclusiva de estudos, é procedente a implantação destes elementos no projeto.



Figura 26 – Localização do prédio do Orquídeário

Fonte: Google Earth.

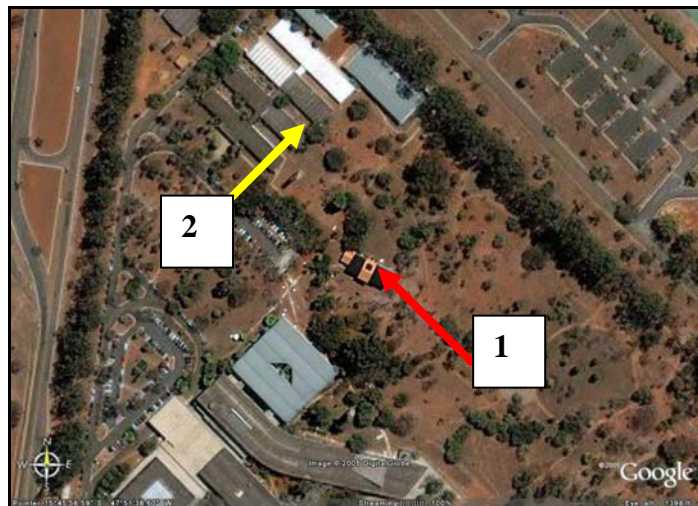


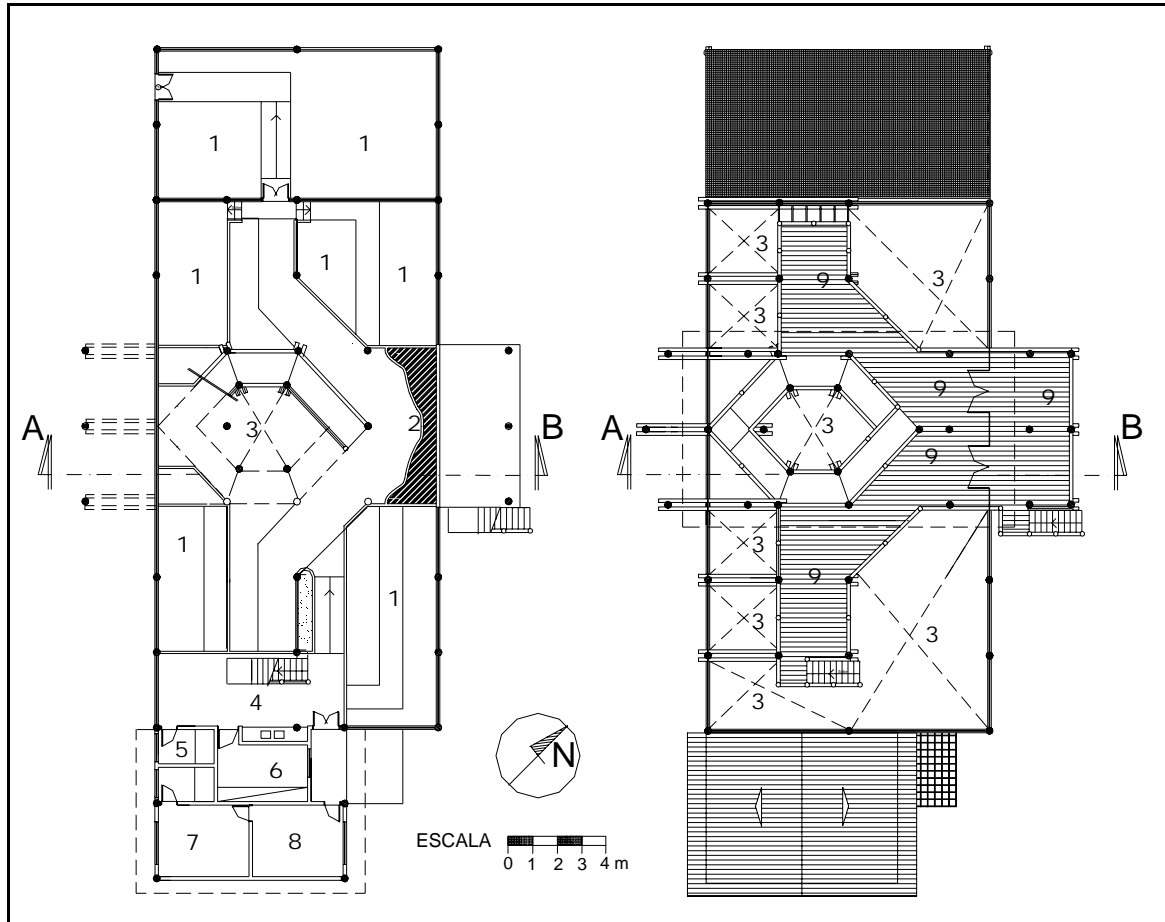
Figura 27 – Implantação (Sede do IBAMA)

Fonte: Google Earth, acessado no dia 7-12-2005.

LEGENDA:

1- Prédio do Orquídeário

2- Prédio do Laboratório de Produtos Florestais.



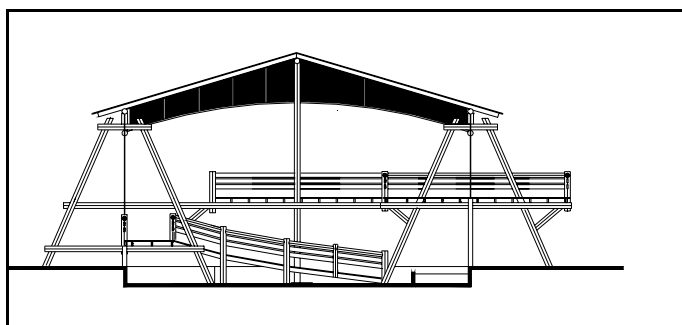
**PLANTA
BAIXA**

**PLANTA DO
MEZANINO**

Figura 28 – Plantas simplificada do projeto arquitetônico

LEGENDA:

- | | |
|----------------------------------|-------------|
| 1- Área para suporte de plantas. | 6- Depósito |
| 2- Espelho d'água. | 7- Chefia |
| 3- Vazio (pé direito vazado). | 8- Técnicos |
| 4- Pátio. | 9- Mezanino |
| 5- Sanitários. | |



CORTE AB

Figura 29 – Corte simplificado do projeto arquitetônico do Orquidário

A estrutura da cobertura é de dois tipos: na área central também tem vigas duplas e prensadas de madeira roliça e um telhado em telha tipo colonial, e nas duas extremidades a cobertura é constituída de arcos forjados com duas vigotas deitadas medindo 0,04cm x 0,12cm, com montantes parafusados entre duas vigotas para se conseguir a estabilidade de uma determinada curvatura desejada para a cobertura na área para suporte de plantas (ver Figuras 48, pág. 84) e (Figura 54, pág. 105). Esses arcos sustentando uma cobertura leve de telas sombreadoras de nylon.

2.3.4 Prédio da casa pré-fabricada – Considerações gerais e ficha técnica

As casas pré-fabricadas em termos da quantidade de madeira usada e da tecnologia empregada podem ser classificadas entre as casas de sistemas construtivos leves tipo plataforma, de tarugos e placas ou tábuas e as casas de tipologias com aspecto mais pesado como as casas de paredes de toras roliças e maciças. Nestas construções fo'i utilizado o sistema de empilhamento de toras semelhante ao das casas de paredes em toras, Esta foram naquele caso substituídas por finas réguas horizontais de madeira maciça de 5x7(ver Figura 59, pág. 110).

Todavia, no caso deste projeto estudado da casa pré-fabricada, a madeira só passou por um processo de secagem e impregnação de fungicida comum e além da cobertura de uma seladora, a grande vantagem deste caso é que a madeira usada é de boa resistência as intempéries.



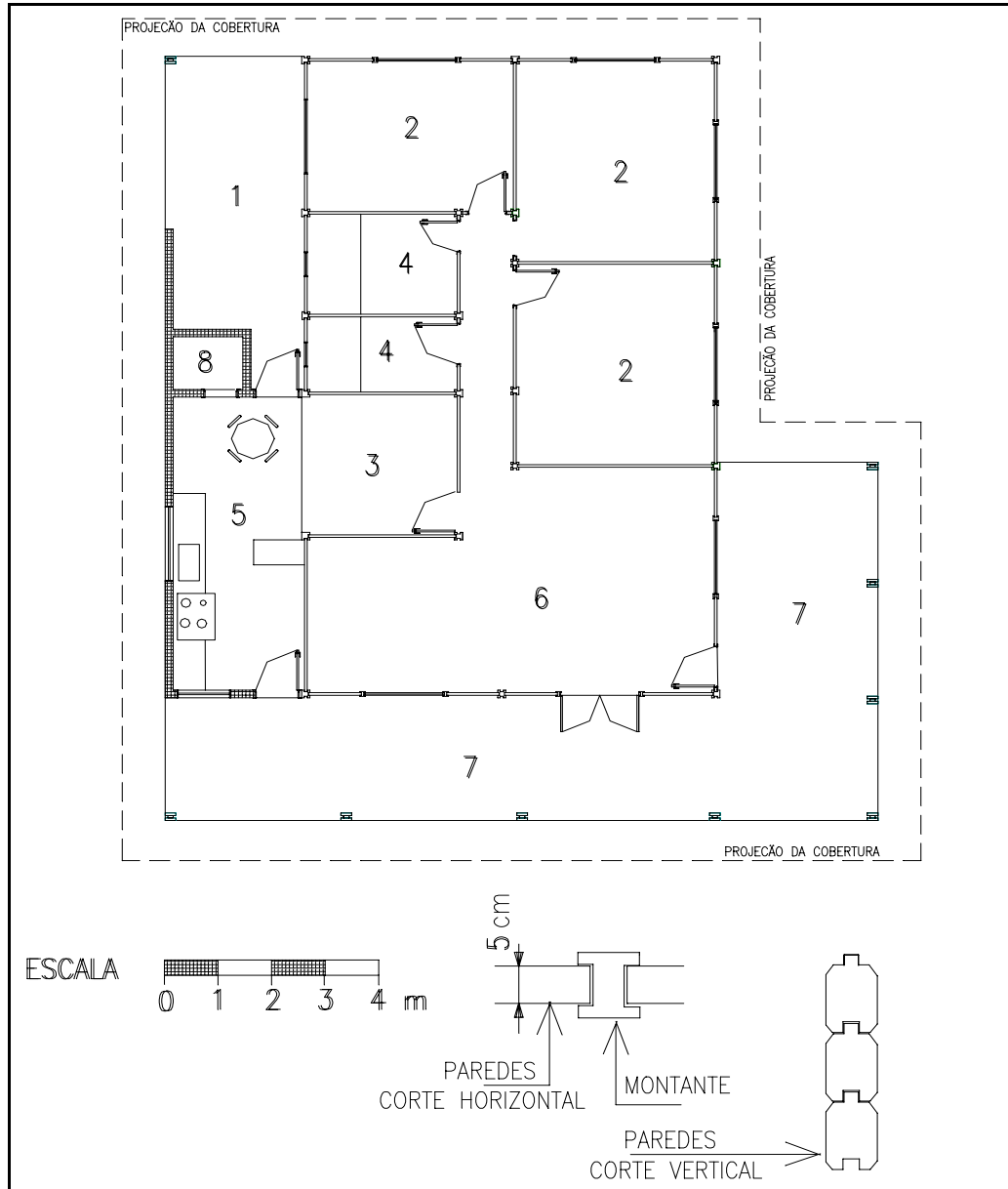
Figura 30 – Implantação da casa pré-fabricada

Fonte: Google Earth, acessado em 7-12-2005.

LEGENDA:

1 - Casa Prefabricada;

2 -BR 020 (Sobradinho- Brasília).



PLANTA BAIXA

Figura 31 – Planta baixa do projeto arquitetônico simplificado

LEGENDA:

- 1- ÁREA DE SERVIÇO
- 2- QUARTO
- 3- SALA DE JANTAR
- 4- BANHEIRO

- 5- COPA / COZINHA
- 6- SALA DE ESTAR
- 7- VARANDA

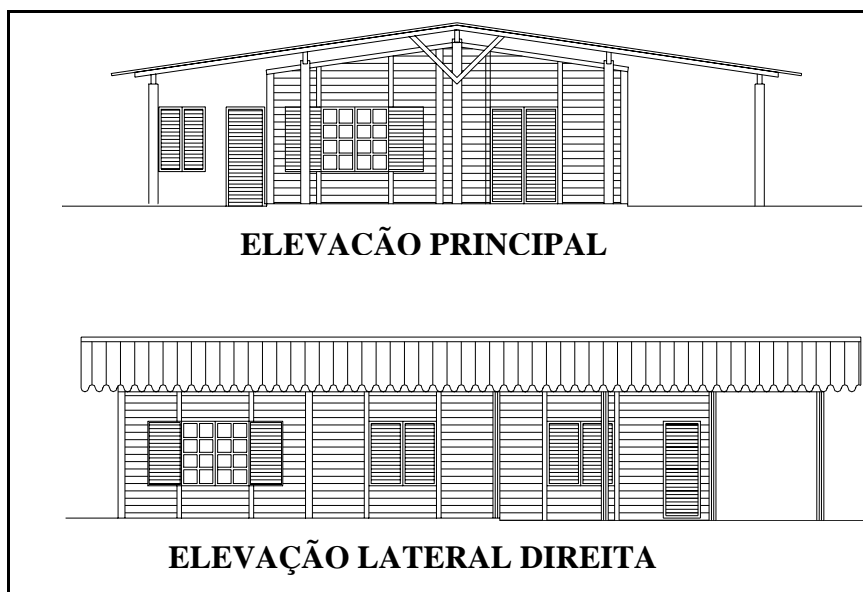


Figura 32 – Elevações da casa pré-fabricada de madeira.

Esta edificação, localizada na região de Sobradinho (ver Figura 56), foi construída em 1990, possui 160m². Construída em madeira ipê (*Tabebuia serratifolia*) num sistema de pré-fabricação no qual as colunas não têm um efeito estrutural, mas servem como montantes para consolidar as peças horizontais chamadas de régua encaixadas de cima para baixo. A edificação tem um aspecto de “monobloco” onde as vedações (paredes) e a estrutura (pilares e vigas) são uma coisa só. Como o peso das vigas e do telhado de telhas cerâmicas do tipo colonial relativamente pesado, não é descarregado de forma concentrada nos pilares e sim distribuído ao longo das peças que formam as paredes, a madeira não está submetida a grandes esforços mecânicos. Isso não quer dizer que esteja isento dos mesmos, mas neste caso a dilatação, provocada pela umidade que vem do solo e a retração são os maiores efeitos, e são causados pelos fatores ambientais.

Um dos principais problemas dessas edificações construídas dentro desta tecnologia é a forte retração que ocorre nas régua. Como elas estão dispostas de forma empilhadas, as paredes dão a impressão que estão encolhendo, porque a retração da madeira no sentido radial e tangencial por ser bem maior do que a retração no sentido longitudinal, e por coincidir também com a direção vertical das paredes provoca uma diminuição da dimensão transversal de cada régua, fazendo surgir um espaçamento de mais de 5 cm na parte superior junto ao telhado. A principal causa deste problema é a madeira não está suficientemente seca, continuando a retrair-se depois de aplicada na obra.

2.4 Análise e Apresentação de Resultados

2.4.1 Análise do prédio do OCA II

Quadro 1 – Resultados da análise do prédio do OCA II

CASOS ESTUDADOS:	FATORES AMBIENTAIS (situações favoráveis e situações desfavoráveis)				
	1-ÁGUA	2-SOL	3-VENTO	4-BIOLÓGICO	5-INCÊNDIO
(A)OCA II					
a – ESTRUTURA	I	S	<u>S</u>	I	S
b – VEDAÇÃO	S	S	S	S	I
c – PISO	S	S	I	I	S
d – COBERTURA	I	S	S	I	I

Legenda: I = Insatisfatório. S = Satisfatório. N = Neutro.

As fotos que seguem servirão como subsídios para a visualização dos problemas nas análises nos itens referentes a esses casos de estudo.



Figura 33 – Eletricidade sem manutenção

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 34 – Vista da fachada

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 35 – Desgaste da base do pilar devido à umidade

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 36 – Apodrecimento da tábuca de beira (vista interna)

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 37 – Gretas e fendas

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 38 – Deterioração pronunciada

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 39 – Apodrecimento da extremidade das vigas (vista externa)

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 40 – Ataque de fungos apodrecedores e emboloradores

Fonte: Fotografia do autor.

(A)-a-1. Apresenta problemas nos pilares do térreo (Figura 35, pág. 90), na escada externa (Figura 37, pag. 91), e na extremidade das vigas do pavimento superior (Figura 39, pág. 91), fachada posterior. A situação da estrutura do lado leste é calamitosa (Figura 36, pág. 90), deverá haver uma substituição de peças da estrutura.

(A)-a-2. Sem interferência.

(A)-a-3. Sem interferência.

(A)-a-4. Há incidência de um acúmulo de material orgânico trazidos pelo vento ou resultante da decomposição da matéria local, resultando no desenvolvimento de fungos provocando apodrecimento e emboloramento na extremidade das vigas (estrutura) da fachada posterior do pavimento superior. E incidências de deterioração pronunciada nos pilares da fachada principal (Figura 38, pág. 91).

(A)-a-5. Os riscos do fogo sobre a estrutura são pequenos, as peças são robustas, mas as prevenções são precárias, já existindo situações vulneráveis do fio elétrico de alta tensão que entra no prédio descoberto e próximo do pilar da estrutura (ver Figura 38, pág. 91).

(A)-b-1. Não afeta as paredes frontais nem as posteriores, nem as internas, O estado de deterioração provocado pela água foi devido ao rompimento do telhado pelo

vento (este telhado não foi revisado, encontra-se sem manutenção há 44 anos), desta forma o problema não é devido a um projeto indevido das vedações.

(A)-b-2. Sem interferência.

(A)-b-3. Sem interferência.

(A)-b-4. Sem interferência (devendo-se levar em conta as ressalvas do item (A)-b-1).

(A)-b-5. Não há riscos de incêndio evidente com a entrada do fio de entrada da eletricidade de alta tensão no piso sujeito ao rompimento em contacto com a estrutura e as vedações metálicas (ver Figura 38, pág. 91).

(A)-c-1. Umidade temporária no piso do 2º pavimento da varanda da fachada principal.

(A)-c-2. Ajuda a secar a umidade provocada pela chuva na varanda guarda corpo e escada da fachada oeste. Mas provoca retração mínima no período seco(março/setembro).

(A)-c-3. Prejudica a fachada leste quando são muito fortes e associado às chuvas. De modo geral, ajuda a arejar as fachadas leste e oeste que são com varandas bem abertas (ver Figura 34, pág. 90)

(A)-c-4. Mantém-se conservado, o piso exposto às intempéries está em lugar arejado e regularmente protegido das chuvas, pegando 50% da insolação diária.

(A)-c-5. Está distante de qualquer foco de incêndio. A varanda da parte posterior onde se localiza a cozinha possui piso de madeira, mas está forrado com zinco, diminuindo os riscos ocasionais.

(A)-d-1. Ocorre incidência da água da chuva sobre a tábua de beira (tabeira) e sobre o piso do pavimento superior. A água da chuva que escorre pelo beiral em direção a parte superior das empenas de alvenaria cria um aspecto degradante nas fachadas do prédio (ver Figura 40, pág. 92).

(A)-d-2. Sem interferência.

(A)-d-3. Colabora na secagem das peças, mas tem um efeito prejudicial quando carrega o SO₂ da poluição atmosférica em direção as peças de madeira.

(A)-d-4. No caso da peça de beira (tabeira) que recebe água por um período muito longo pode está sujeita ao ataque dos agentes biológicos. No trecho em que a tabeira está em contacto com as empenas de alvenaria a situação é problemática (ver Figura 36, pág. 90), havendo acúmulo de material orgânico e de umidade provocando emboloramento e apodrecimento.

(A)-d-5. Há possibilidade de incêndio na cobertura, principalmente nas áreas internas devido às adaptações feitas ao sistema elétrico sem critérios técnicos (ver Figura 33, pág. 89).

2.4.1.1 Conclusão dos dados de análise do prédio do OCA II e proposta de solução dos problemas.

O prédio do Oca II apresenta algumas características sob ponto de vista de uma boa resolução de projeto de madeira em condições de manter-se durável, (o mesmo nunca sofreu uma restauração a 44 anos) tais como:

a) Existe uma boa ventilação na parte superior, próximo ao telhado (forro e vigotas), o que faz evitar a proliferação de fungos devido a condensação de umidades nestes locais. Os problemas de deterioração que ocorrem nas peças de cobertura (com exceção da peça de beira, que veremos mais adiante) são causados pela falta de manutenção das telhas de zinco, que forma aberturas permitindo a entrada de água da chuva, da poeira, do vento, e outros agentes destruidores da madeira.

b) O sistema construtivo viga-pilar aparafusados e a técnica usada para agregar as demais peças da estrutura e das vedações facilita a substituição destas peças.

Nos diversos elementos construtivos do prédio existem problemas, mas estes não são impossíveis de serem resolvidos, e em nível de sugestões propomos o seguinte:

a) Na estrutura, mais especificamente nos pilares da fachada principal estão deteriorados na sua união com o piso, em um dos caso o pilar já afundou 5cm. Para resolver esse problema, tem-se que escorar a estrutura que se apóia no pilar do trecho correspondente e

acrescentar uma emenda. É preventivo também se criar uma peça metálica entre o pilar e o piso para impedir que a umidade proveniente da superfície o piso, e a umidade que vem das fundações ataque os pilares (na Figura 63 da página 119 veja-se proposta para solução dos detalhes do Problema 1).

b) A extremidade das vigas na fachada posterior do pavimento superior recebem umidade devido à inclinação do telhado da edícula que direciona a água da chuva para a extremidade das vigas, onde também ocorre o acúmulo de folhas, deteriorando as vigas por completo (na Figura 66 da página 122 veja-se proposta para solução dos detalhes do Problema 4).

c) É necessário toma certas medidas para evitar que a água das chuvas e a água que escorre dos beirais respingue e escorra em direção a estrutura de madeira (pilares) do térreo. Pode ser feita uma calha de drenagem, para conter a água dos beirais e mudar a inclinação da calçada adjacente ao prédio para que a água da chuva não escorra mais em direção às estruturas principalmente a dos pilares

d) A cobertura possui um beiral muito curto. Caso fosse prolongado este beiral descaracterizaria a arquitetura original do prédio. Sendo assim a melhor solução é incorporar-se uma calha no mesmo material das telhas, reduzindo assim a incidência de chuvas sobre a tabeira (tábua de beira), que é uma peça que define bastante a estética do prédio. Além disso evita a incidência de águas nas varandas levada pelo vento e o excesso de umidade nas áreas adjacentes ao térreo (na Figura 64 da página 120 ver proposta para solução dos detalhes para o Problema 2).

e) Com relação aos riscos de incêndio deve-se salientar que um prédio igual a este chamado de OCA II já pegou fogo, mas isso não deve ser justificativa, porque este outro (o OCA II) nunca teve problemas de incêndio, apesar da falta de manutenção, inclusive do sistema elétrico (alto indutor de problemas de incêndio (ver Figura 33, pág. 89) porque a incidência de fogo sobre as edificações de madeira se deve mais aos cuidados que se deve ter em não deixar certos componentes da edificação, principalmente as peças mais finas.

f) Escada externa e piso da varanda estão totalmente desprotegidos da ação dos fatores biológicos, recomenda-se a substituição das suas extremidades por peças de

madeira por espécies mais resistente e outras medidas (ver proposta de solução de detalhes: Problema 3).

Com essas medidas é possível renovar e revitalizar este prédio que é um espaço disponível no campus universitário que pode abrigar mais algumas funções. O prédio do OCA II é um espaço interessante haja visto o quanto já foi útil como já foi dito antes. E guarda um valor histórico e cultural para comunidade universitária e até para a cidade de Brasília, portanto, é procedente a sua recuperação e vale a pena restaurá-lo.

2.4.2 Análise do prédio do Clube Naval

Quadro 2 – Resultados da análise do prédio do Clube Naval

CASOS ESTUDADOS:	FATORES AMBIENTAIS (situações favoráveis e situações desfavoráveis)				
	1-ÁGUA	2-SOL	3-VENTO	4-BIOLÓGICO	5-INCÊNDIO
(B)CLUBE NAVAL					
a – ESTRUTURA	I	S	S	I	S
b – VEDAÇÃO	S	S	S	S	S
c – PISO	N	N	N	N	N
d – COBERTURA	S	S	S	S	S

Legenda: I = Insatisfatório. S = Satisfatório. N = Neutro.

As fotos que seguem servirão como subsídios para a visualização dos problemas nas análises nos itens referentes a esses casos de estudo.



Figura 41 – Entrada principal

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 42 – Sistema estrutural

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 43 – Pilar do lado direito da entrada principal

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 44 – Pilar do lado esquerdo da entrada principal

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 45 – Ligações com o piso

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 46 – Ligações com o piso

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 47 – Passarela

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 48 – Sistema estrutural

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 49 – Pilares da passarela (distanciados do piso)

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 50 – Pilares da passarela (distanciamento curto)

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 51 – Ação da chuva em vigas

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 52 – Ação do sol em vigas

Fonte: Fotografia do autor.

(B)-a-1. A estrutura não é atacada pela água, com exceção dos pilares em alguns cômodos como na entrada principal e na passarela central, devido a inclinação do terreno (ver figura 47, pág. 98), que provoca maior acúmulo onde os pilares já perderam totalmente a resistência. É com se eles não existissem, eles estão pendurados em vez de estarem apoiados (ver Figura 50, pág. 99).

(B)-a-2. O sol acelera qualquer processo de deterioração, ataca a lignina provocando o falecimento do material (ver Figura 52, pág. 100).

(B)-a-3. Provoca abrasão sobre a estrutura principalmente se já está enfraquecida pela absorção de água e desgastada pela ação do sol o que aumenta o processo do desaparecimento do material (ver Figura 50, pág. 99), este problema ocorre nos pilares citados no item (B)-a-1 .

(B)-a-4. Há incidência nos pilares em processo de falência na entrada principal e da passarela (ver Figura 46, pag. 98 e Figura 50, pág. 99).

(B)-a-5. A estrutura não esta próxima de áreas de riscos ocasionais.

(B)-b-1. As vedações de madeira que são as portas e janelas estão bem protegidas da água.

(B)-b-2, (B)-b-3 e (B)-b-4. Sem interferência.

(B)-b-5. As vedações estão longe da área de risco de incêndio.

(B)-c-1. Não há elementos de madeira, mas devido a forte inclinação do piso a situação da entrada principal e na área das passarelas piora a condição dos pilares (ver Figura 44, pág. 97). Mesmo com proteção metálica os pilares apodrecem totalmente chegando a desaparecer . A madeira usada como o pinho deteriora-se facilmente se não estiver protegido da água e do sol.

(B)-c-2. É útil sob forma de manter seco onde há madeira por perto.

(B)-c-3. Ajuda a arejar e reduzir a umidade.

(B)-c-4. Estão atacando a base dos pilares. Em 30 anos de uso certos pilares da passarela existente, a madeira já desapareceu nos trechos onde a água atinge pelo respingo da chuva (ver Figura 49, pág. 99).

(B)-c-5. Como toda madeira as estruturas podem estar sujeita ao fogo, porem as peças são bem dimensionadas possuindo uma boa resistência. O incêndio é um risco para qualquer tipo de edificação que normalmente possuem internamente e como elementos de vedação materiais que são até mais combustíveis do que a madeira.

(B)-d-1, (B)-d-2, (B)-d-3, (B)-d-4 e (B)-d-5. A cobertura não é de madeira. O caso das vigas de cobertura já está analisado no item anterior.

2.4.2.1 Conclusão dos dados de análise do prédio do Clube Naval e propostas de solução dos problemas .

Os problemas que ocorrem no clube naval de ordem de conservação não são muito grandes em termos da obra, porque basta recuperar dois pilares da entrada principal e outros quatro das passarelas. Inclui-se também três casos de extremidades de vigas. Os outros elementos construtivos de madeira que são as esquadrias internas não apresentam problemas. O caso do clube naval e da casa pré-fabricada são convenientes de se numerados, porque são reduzidos, já nos outros casos de estudos não é apropriado porque é bem maior o universo de problemas relativos à durabilidade que são abordados.

Nos pilares o problema é na sua interface com o piso e nos dois casos é devido a água da chuva que escorre em suas bases, é possível que na concepção do projeto não se tenha levado em conta o nível de enxurradas que poderia ocorrer no caso de uma implantação próximo ao lago de Brasília num terreno com forte declividade. Mas os problemas são possíveis de serem resolvidos sem ter que intervir na sua implantação. As medidas são as seguintes:

a) Nos pilares da entrada deve-se instalar a peça metálica que serve para fazer a ligação do pilar com o piso. Esta peça já existente nos outros pilares. Devem também ser substituídas as colunas de madeira do conjunto afetado, ou apenas instalar um complemento na parte inferior.

b) Nos outros pilares das passarelas deve-se substituir a peça a peça metálica por uma peça com o mesmo tubo que compõe a peça, porém com maior comprimento (acima do nível por onde a água da chuva escorre).

c) Em termos gerais esta peça metálica que foi proposto para conter a umidade proveniente do piso nos pilares não é totalmente eficiente. Está ocorrendo nesta peça em forma de “U” uma retenção de umidade, pois já podemos presenciar em grande parte dos pilares externos um indício de apodrecimento do trecho inferior que fica encaixado nestas peças metálicas. Dessa forma, está sendo proposta uma peça menos fachada que possibilite maior ventilação (ver proposta para solução de detalhes: Problema 2 na página 126).

d) No caso das extremidades das vigas afetadas pelo desgaste provocado pelos fatores naturais, principalmente o sol (raios ultravioletas intensificando a retração da madeira) e a água (provocando inchamento da madeira), deve-se aplicar um líquido impermeabilizante após retirar e limpar a superfície destruída. Além de outras soluções com

proteger esta extremidade com um revestimento de uma material que resista melhor a estes fatores naturais que mencionamos.

Como conclusão podemos afirmar que todas estas falhas das edificações não precisariam existir se fossem pensadas soluções na fase de execução dos projetos que assegurassem a sobrevivência da madeira. Para isso é necessário considerar para os projetos em madeira, de forma bem precisa e geral, como estão incidindo os fatores ambientais e quais os efeitos que poderão causar.

2.4.3 Análise do prédio do Orquidário

Quadro 3 – Resultados da análise do prédio do Orquidário

CASOS ESTUDADOS:	FATORES AMBIENTAIS (situações favoráveis e situações desfavoráveis)				
	1-ÁGUA	2-SOL	3-VENTO	4-BIOLÓGICO	5-INCÊNDIO
(C)ORQUIDÁRIO					
a – ESTRUTURA	I	I	S	I	S
b – VEDAÇÃO	S	S	S	S	S
c – PISO	S	S	S	S	S
d – COBERTURA	I	S	S	S	S

Legenda: I = Insatisfatório. S = Satisfatório. N = Neutro.

As fotos que seguem servirão como subsídios para a visualização dos problemas nas análises nos itens referentes a esses casos de estudo.



Figura 53 – Vista frontal

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 54 – Sistema de vigamentos para os grandes vãos

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 55 – Pilar protegido da umidade

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 56 – Vista geral interna

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 57 – Retração transversal

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 58 – Pilar recebendo umidade

Fonte: Fotografia tirada pelo autor.

(C)-a-1. Os pilares da fachada apresentam muitas fendas propícias à penetração de insetos, e a retenção da umidade, mas ainda não apresenta estragos. Esta madeira de eucalipto é tratada em altoclave com CCA (cromo ,cobre e arseniato) resistente ao apodrecimento. Os pilares internos recebem bastante umidade correndo risco de deterioração (ver Figura 58, nesta página).

Os pilares internos estão sujeitos ao apodrecimento, visualmente pode-se constatar o início do processo, pelo fato de estarem em contacto direto com o solo ou áreas úmidas irrigadas (ver Figura 58, nesta página). Nos pilares e vigas externas verificam-se gretas provocadas pela retração sujeitas à entrada de água.

(C)-a-2. O sol do período da tarde incide nas extremidades das vigas da varanda provocando retração transversal nas fachadas viradas para o leste (ver Figura 57, nesta página). Essa situação foi analisada por PFEIL(1994). Um dos pilares da fachada virada para o poente também apresentam gretas devido a retração.

(C)-a-3. Os ventos não afetam a estrutura desta edificação. Quando as chuvas não são constantes até servem para ajudar na estanqueidade (ver Figura 53, pág.104).

(C)-a-4. Existe início de proliferação de fungos e podridão em superficial próximo a base dos pilares que recebem umidade da irrigação através do piso (ver Figura 58, pág. 106).

(C)-a-5. Esta estrutura não apresenta riscos de incêndios está longe de focos de incidência.

(C)-b-1. As vedações são de material sintético permeável. Mas os montantes são de madeira a qual se encontra bem conservada devido a boa ventilação (ver Figura 53, pág. 104)

(C)-b-2. O sol incide intensamente sobre as peças da vedações mas não provoca muito impacto porque estas peças recebem umidade das áreas internas irrigadas e são bem ventiladas (ver Figura 56, pág. 105 e Figura 53, pág. 104).

(C)-b-3. Os ventos incidem de maneira favorável, no sentido longitudinal do prédio, sem ocorrer desvio das chuvas em direção a estes painéis.

(C)-b-4. As madeiras das partes molhadas da base dos pilares internos já apresentam alterações visíveis do seu umedecimento constante devido às irrigações das mudas e por estarem próximo ao solo.

(C)-b-5. Não há riscos porque não há nenhuma possibilidade de surgimento de foco de que possam provocar combustão na estrutura.

(C)-c-1. O piso de madeira do mezanino está em boas condições, a obra é nova, mas está com possibilidades de boa durabilidade, as peças do assoalho estão convenientemente separadas evitando que recebam umidade.

(C)-c-2. A insolação não muito intensa é favorável ao piso, ajudando a secar.

(C)-c-3. Os ventos favorecem quando não existem chuvas ininterruptas, pois ajudam a secar a madeira encharcada.

(C)-c-4. O eucalipto é tido como uma madeira resistente aos agentes biológicos. Nesta obra a situação mais perigosa é na face interna das colunas que pegam pouca insolação e pouca ventilação além de receber umidade constante a água usada para molhar as plantas que vivem no orquidário.

(C)-c-5. Praticamente não tem risco de incêndio no orquidário. O material não recebeu tratamento anti-fogo, mas não há incidência de fogo neste recinto.

(C)-d-1. A cobertura no trecho que está sem cobertura de telha cerâmica encontra-se sujeita a ação da água da chuva.

(C)-d-2. O sol não está afetando as peças da cobertura, inclusive agindo para melhorar a estanqueidade, junto com o vento. As vigas arqueadas de vigotas prensadas (ver Figura 54, pág. 105) recebem água mas secam com rapidez .

(C)-d-3. Não há interferência em termos de comprometimento da durabilidade.

(C)-d-4. Pode haver incidência nos pilares internos caso o produto aplicado para a conservação não faça efeito por muito tempo. E pode haver incidência também nas fendas provocadas pela insolação.

(C)-d-5. Não há riscos ocasionais de incêndio.

2.4.3.1 Conclusão dos dados de análise do prédio do Orquidário do IBAMA e proposta para solução dos problemas

O prédio do orquidário atende, na maioria dos aspectos os princípios básicos, para a durabilidade de uma edificação de madeira. Apenas dois problemas são mais graves, um nos pilares internos que está recebendo umidade ocasional devido a irrigação das vegetações localizadas nos seus recintos. A madeira da estrutura dos pilares recebeu um tratamento pelo processo de autoclave com um produto a base de cobre, cromo e arseniato (CCA) que penetrou na madeira desde a sua superfície até a profundidade de 4 cm. Como o prédio é relativamente novo (6 anos) ainda não é possível fazer uma avaliação conclusiva. De acordo com depoimento do arquiteto e do engenheiro, autores do projeto, este tratamento é suficiente para resistir às condições em que a madeira é colocada.

Outro problema que ocorre mais agravante está localizado em uma das vigas da fachada. A peça apresenta rachaduras longitudinais e diagonais que ocorrem devido a que esta madeira foi submetida a um período curto de secagem. E como o eucalipto é uma árvore que cresce muito rápido por isso a sua madeira apresenta consideráveis tensões internas. “As madeiras roliças que não passarem por um período mais ou menos longo de secagem ficam sujeitas a retrações transversais que provocam rachaduras nas extremidades” (PFEIL, 1994). A solução, em curto prazo para este problema, é o preenchimento destas fendas com uma massa adequada usando serragem para evitar o alojamento de microorganismos e poeira. Para reter a continuidade do processo propõe-se também a instalação de peças metálicas em forma de “C” ou “S” (ver proposta para solução de detalhes na figura 69 da página 128) ou um parafusamento no sentido perpendicular às fendas.

No caso do Orquidário em ambos os casos existem apenas indício de que certos problemas estão se iniciando, porque como já foi dito o prédio é bastante recente para se ter uma avaliação conclusiva. Mas em termos gerais, para qualquer edificação em madeira, precisamente nos lugares onde iniciam os defeitos (tipo descascamento, micro fendas), é onde haverá retenção maior de umidade e maior presença de microorganismos. Por isso é importante evitar que os defeitos incidam, porque eles irão progredir e alastrar-se.

2.4.4 Análise do prédio da casa pré-fabricada

Quadro 4 – Resultados da análise do prédio da casa pré-fabricada

CASOS ESTUDADOS:	FATORES AMBIENTAIS (situações favoráveis e situações desfavoráveis)				
	1-ÁGUA	2-SOL	3-VENTO	4-BIOLÓGICO	5-INCÊNDIO
(D) CASA PREFABRICADA					
a – ESTRUTURA	I	I	I	I	S
b – VEDAÇÃO	I	I	I	I	S
c – PISO	N	N	N	N	N
d – COBERTURA	I	N	I	S	I

Legenda: I = Insatisfatório. S = Satisfatório. N = Neutro.

As fotos que seguem servirão como subsídios para a visualização dos problemas nas análises nos itens referentes a esses casos de estudo.



Figura 59 – Vista geral

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 60 – Efeitos do sol

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 61 – Madeira da parede deteriorada na base

Fonte: Fotografia do autor.



Figura 62 – Retração transversal das peças provocando abertura nas paredes.

Fonte: Fotografia do autor.

(D)-a-1. Neste sistema construtivo a estrutura é composta com a parede. Já apresenta problemas de apodrecimento na base devido aos beirais que são muito curtos. O trecho inferior da estrutura e das paredes fica bastante vulnerável à umidade (ver Figura 60, pág. 110).

(D)-a-2. A situação é quase sempre a mesma em relação ao sol, das 10 horas às 15 horas é prejudicial porque os raios ultravioletas do sol fazem mais estragos (ver Figura 60, pág. 110). Mas fora deste intervalo o sol faz bem porque mantém o ambiente seco.

(D)-a-3. A maior deficiência deste tipo de tecnologia aplicada a madeira é justamente a ventilação, a casa pré-fabricada é deficiente em ventilação tanto nas paredes estruturais, quanto na estrutura do telhado.

(D)-a-4. Verifica-se a presença de fungos emboloradores e apodrecedores nas peças das paredes externas próximo ao piso (ver Figura 61, pág. 110).

(D)-a-5. Não há o risco eminente de incêndio, pois as áreas de riscos ocasionais como banheiros e cozinha estão construídas em alvenaria.

(D)-b-1. É prejudicial para as paredes externas porque associado à falta de ventilação é um fator de risco. Já se verificam problemas nas peças externas próximo ao piso (ver figura 58).

(D)-b-2. A madeira sendo de Ipê resiste bastante, por isso não está muito desgastada, mesmo depois de 15 anos em que a casa foi construída. Já existem sintomas do embranquecimento das paredes de madeira externa ocasionado pelos raios ultravioletas do

sol, que destrói a lignina da madeira (ver Figura 60, pág. 110). O sol também está provocando retração transversal na madeira (réguas) das paredes externas ocasionando a formação de frestas na parte superior, próximas da cobertura.

(D)-b-3. A ventilação é bastante deficiente tanto nas peças de madeira que é constituída as paredes quanto nas peças do telhado.

(D)-b-4. As vedações no que dizem respeito à parede encontra-se atacada por agentes biológicos, tais como fungos apodrecedores e emboloradores (ver Figura 61, pág. 110).

(D)-b-5. Não há risco ocasional de incêndio, pois as áreas de risco como banheiros e cozinha foram construídas em alvenaria.

(D)-c-1. A água que fica retida sobre a calçada externa é muito perigosa nestes tipos de edificações de madeira. Por não serem erguidas do chão a água sobe por capilaridade nas peças inferiores (ver Figura 61, pág. 110). Outro fato é a chuva que atinge diretamente as paredes de madeira porque os beirais são muito curtos para esse tipo de sistema construtivo (ver figura 60, pág. 110).

(D)-c-2. É favorável para que esterilize e seque as áreas adjacentes as paredes da área externa.

(D)-c-3. O vento normalmente é bom, pois areja os cômodos estendendo-se às peças inferiores das paredes.

(D)-c-4. Já se nota, em alguns pontos localizados, danificação de peças menores de recobrimento da última peça que fica em contacto com a base. Estas peças menores evitam que os danos provocados pelas intempéries atinjam peças mais importantes, sendo suficiente apenas trocá-las quando não há danos nas peças de madeira maiores da parede, e dos montantes.

(D)-c-5. O risco de incêndio é grande, pois toda a estrutura e vedações são de madeira. Mas por ser uma madeira resistente se houver incêndio o processo é mais lento, e pode dar tempo de controlá-lo. Além disso, as áreas com riscos ocasionais de incêndio estão construídas em alvenaria.

(D)-d-1. O trechos interno da cobertura está bem protegido da água das chuvas. Já os beirais estão sujeitos a umidade e a retração enfraquecendo a madeira .

(D)-d-2. A cobertura não apresenta sintomas negativos devido à ação dos raios solares. Somente os beirais estão sujeitos a problemas de retração.

(D)-d-3. A cobertura não é bem ventilada. Em períodos frios tem risco de condensação de umidade, facilitando o alojamento de microorganismos principalmente no forro de madeira.

(D)-d-4. Não há efeitos causados por fatores biológicos na cobertura.

(D)-d-5. Há riscos de incêndio porque as áreas de risco de incêndio como os banheiros e a cozinha estão forrados com peças muito finas sujeitas a ação do fogo.

2.4.4.1 Conclusão dos dados de análise do prédio da casa pré-fabricada e proposta de solução dos problemas .

Esta tecnologia é viável para ser adotada como uma das soluções técnicas para habitações e inclusive para outros tipos de alojamento, desde que sejam cumpridas as determinações construtivas para o seu melhor funcionamento. Entre outros fatores, os principais determinantes para que a casa pré-fabricada funcione bem é que a madeira esteja bem seca antes de ser aplicada para que não ocorram aqueles problemas de retração que falamos antes. Outro grande problema é que a edificação não toque no solo. É bem entendido que isso irá modificar a concepção do projeto no que diz respeito a sua implantação, porque já é senso comum que estas edificações sejam instaladas de forma totalmente apoiadas no piso. Já que os problemas de umidade que ocorrem tanto internamente como externamente só aparecerão depois de um certo tempo (aproximadamente 5 anos), o comerciante se exime da responsabilidade. E o proprietário e comprador do imóvel aceita as condições por desconhecimento técnico de tais problemas, influenciando-se pelo custo, que é menor, e por outras vantagens, como a funcionalidade, leveza e rapidez na construção.

Os principais problemas existentes na casa pré-fabricada analisada são: a) a retração das peças horizontais que compõem o madeiramento da parede; e b) o apodrecimento das peças horizontais de madeira da parede localizada próximo ao piso.

As propostas para solucionar os principais problemas existente na casa pré-fabricada estão mostradas em desenho (ver Figura 70, pág. 129).

2.4.5 Análise das quatro edificações

Sobre a questão da durabilidade verificamos através da apresentação dos dados de análise dos prédios analisados que todos os quatro prédios apresentam problemas de degradação física. Levando-se em conta os elementos construtivos: estrutura, vedações, pisos e coberturas, concluímos que o prédio do OCA II é o que mais problemas apresenta, conseqüentemente, porque dos quatro prédios é o mais antigo, além disso os aspectos de controle, manutenção e reparos tem sido negligenciado, postergado ou efetuado ser critérios técnicos.

Devido à quantidade de elementos construtivos que existem nesta edificação, ela poderia ser comparada com o Orquidário, com a Casa pré-fabricada e com o Clube Naval para se constatar, comparativamente, o grau dos problemas existentes entre eles. No caso do Orquidário, exclusivamente, apesar de possuir também um número grande de elementos construtivos em madeira, ele não apresenta tantos problemas. Todavia isso não que dizer que não possua tantos pontos vulneráveis quanto o OCA II, por exemplo. Só que no caso do orquidário deve-se esperar mais um tempo para uma avaliação mais conseqüente, pelo fato desse edifício possuir apenas cinco anos.

No entanto, alguns efeitos foram constatados a partir dos dados do quadro de análise para este prédio. A Casa pré-fabricada, apesar de possuir muitos problemas e ter um partido em termos de sistema construtivo bastante duvidoso para obras de madeira, também não se encontra com tantos problemas como o edifício do OCA II porque é uma obra de pequenas dimensões e, conseqüentemente, não apresenta tantos detalhe suscetíveis ao intemperismo, como no caso daquele prédio. Já o caso Clube Naval também, com os seus problemas de degradação física, e mesmo estando numa outra escala de análise, porque foi um projeto com soluções pensadas para garantir a durabilidade, os seus problemas requerem soluções mais simples para serem equacionados.

Sob o ponto de vista da estrutura o prédio do OCA II está em situação preocupante tanto em termos de quantidade como em gravidade dos problemas, porque possui todos os pilares da fachada principal encravados diretamente no piso, causando

deterioração no ponto de ligação entre a madeira e o piso. Já havendo inclusive recalque de um dos pilares. No caso do Clube Naval enfocando o caso dos pilares o arquiteto procurou dar uma solução criando uma peça metálica para distanciar a madeira do pilar em relação ao piso nos locais onde, freqüentemente, recebe umidade.

Todavia, foi constatado que esta peça é insuficiente em dois sentidos: porque não eleva suficientemente os pilares do piso continuando a surgir o problema da deterioração na parte inferior dos mesmos. Esta peça a que nos referimos possui ainda uma forma na sua parte superior que colabora com a retenção de umidade.

No caso do Orquidário, o detalhe para a parte inferior do pilar não é tão sofisticado, mas impede a subida da umidade porque possui uma proteção de concreto ou argamassa até uma altura conveniente. Já os pilares internos do Orquidário que se encontram enterrados diretamente no solo estão em situação desfavorável sob o ponto de vista da durabilidade, pois estão sujeitos à deterioração devido aos fatores biológicos ou microorganismos que surgem com a presença da madeira, juntamente com a umidade e o solo.

Um problema semelhante ocorre com as paredes da casa pré-fabricada, que apesar de não estar enterrada diretamente no solo encontra-se assentada sobre um piso de concreto que está recebendo umidade constantemente. Nesse caso, uma das soluções adequadas seria um procedimento semelhante ao proposto nos “detalhes gerais” (item III) desta dissertação, o qual mostra que a edificação deve ser levantada do piso e os apoios devem estar distantes da umidade ocasional.

Outro componente importante da estrutura que merece ser analisado são as vigas. Estas estão se deteriorando no caso do OCA II devido a uma inversão da inclinação da cobertura da área coberta da elevação posterior que incide diretamente contra a extremidade das vigas. No caso da Casa pré-fabricada quase não há problemas porque as vigas são principalmente internas. Já nos outros dois casos, o do Clube Naval e do Orquidário, ambos apresentam problemas com a insolação em algumas extremidades, provocando retração. Exclusivamente no caso do primeiro também se verificam alguns sinais de inchamento combinando com retração devido à umidade ocasional nas extremidades.

Quando se trata das vedações, verifica-se que, no caso do OCA II, não há nenhum problema relativo à durabilidade que seja causado por uma concepção deficiente de projeto ou detalhes construtivos. Pelo fato de que as madeiras das vedações compostas de painéis finos com ventilação na parte superior, em alguns casos, e superior, em outros, estão totalmente protegidas e recuadas o suficiente em relação ao nível das fachadas, impedindo, dessa forma, o acesso da umidade das chuvas e a radiação solar.

Esse elemento construtivo, inclusive, é bastante adequado para obras em madeira, pois favorece a troca de temperaturas e a boa ventilação, as quais são requisitos básicos para construções de madeiras. O mesmo não se pode falar com relação à Casa pré-fabricada, onde as paredes estruturais, que também funcionam como vedações tanto internas como externas, apresentam problemas de retração das peças que compõem as paredes externas devido a pouca resistência da madeira na forma como ela é colocada, em confronto direto com os raios ultra violetas do sol. No caso do Clube Naval as vedações são em alvenaria, as vedações de madeira são somente as portas e janelas. Estas são de diversos tamanhos e encontram-se da mesma forma que no OCA II bastante distanciadas do alinhamento das fachadas. No Orquidário as ventilações são telas transparente articuladas com peças finas de madeiras. Essa solução própria das casas de vegetação é bastante favorável a obras de madeira, pois possibilita uma secagem rápida dos elementos que se umedessem com a água da chuva. O cuidado maior deve ser com os raios solares, mas a umidade interna e a ventilação plena favorecem nesse sentido.

Com relação aos pisos dos respectivos casos analisados, tem-se a analisar o prédio do OCA II, pois é o único que possui piso de madeira, situado no segundo pavimento. Este piso apresenta problemas devido à água do beiral e também à chuva que incide diretamente sobre ele. Este aspecto agrava ainda mais a situação do prédio do OCA II em relação aos demais casos.

Quanto à cobertura das edificações estudadas, a situação não é diferente do que acontece com os outros elementos construtivos, pois o prédio do OCA II ainda é o que apresenta um maior número de problemas porque tem-se a impressão que este prédio foi projetado com uma linguagem arquitetônica adotada para edificações em concreto, devido a sua forma. Procurando seguir os padrões estéticos do modernismo muito adotado no início da construção de Brasília. Ocorrem certos tipos de integração entre madeira e outro material,

como por exemplo, quando se coloca a cobertura em contacto com as empenas provocando a deterioração da tábuas de beira, favorecendo a partir daí a destruição de outras peças. E ainda o fato de possuir beirais curtos faz incidir umidade na escada externa e no piso da varanda. Apresentando efeitos destruidores, como se pode verificar a partir dos dados de análises.

Nos outros três casos estudados as situações são bem diferentes entre si. No prédio do Clube Naval não existem peças de madeira na cobertura, na verdade o que existe são vigas de madeira que compõem o conjunto estrutural. Estas vigas estão em bom estado com exceção das suas extremidade que em alguns casos verifica-se o início de um processo de desgaste devido à insolação e a incidência de chuvas

Com essa análise pode-se constatar que a pesquisa de casos existentes fornece subsídios interessantes para se tirar conclusões acerca do problema da durabilidade em arquiteturas de madeiras. Ou seja, a verificação destes casos concretos nos auxilia no entendimento de como se dá o processo da deterioração das edificações. E é onde se apresentam com mais intensidade as ações dos fatores ambientais sobre os detalhes construtivos.

Outra conclusão desta pesquisa é a verificação de onde estão ocorrendo os problemas e onde os detalhes estão bem resolvidos, constatando-se, assim, que os prédios em arquitetura de madeira normalmente estão bem resolvidos estruturalmente, mas estão carentes ainda de muitos recursos de projeto para deixá-los em condições de enfrentar as condições ambientais e, portanto, uma boa adaptação sob o ponto de vista da durabilidade.

3 PROPOSTA DE CORREÇÃO DE DETALHES DOS EDIFÍCIOS ANALISADOS – DETALHES GERAIS E PRINCÍPIOS

3.1 OCA II

No caso do OCA II nos deparamos com quatro problemas graves:

Problema 1 – Desgaste e apodrecimento da base dos pilares (ver Figura 35, pág. 90).

Solução do problema: Deve-se instalar uma peça metálica entre o pilar e o piso (ver Figura 63).

Problema 2 – Beiral curto provocando umidade constante nas peças da varanda da escada e da tabeira. Provocando também incidência de água pluvial sobre as empenas (ver Figura 34, pág. 90).

Solução do problema: a solução encontrada foi a instalação de uma calha de zinco do mesmo material da telha. (ver Figura 64, pág. 120).

Problema 3 – Apodrecimento da longarina da escada externa e das extremidades das tábuas do piso da varanda (ver Figura 37, pág. 91).

Solução do problema: Deve-se acrescentar um bloco de concreto nas terminações das longarinas da escada e é aconselhável a complementação das terminações que estão próxima do piso com madeira mais resistente. Com relação ao piso da varanda, deve-se trocar as extremidades por madeiras mais resistentes (ver Figura 65, pág. 121).

Problema 4 – Incidência de água da chuva sobre as vigas de cobertura na elevação posterior. (ver Figura 39, pág. 91).

Solução do problema: a solução é trocar a parte apodrecida e mudar a inclinação do telhado (ver Figura 66, pág. 122).

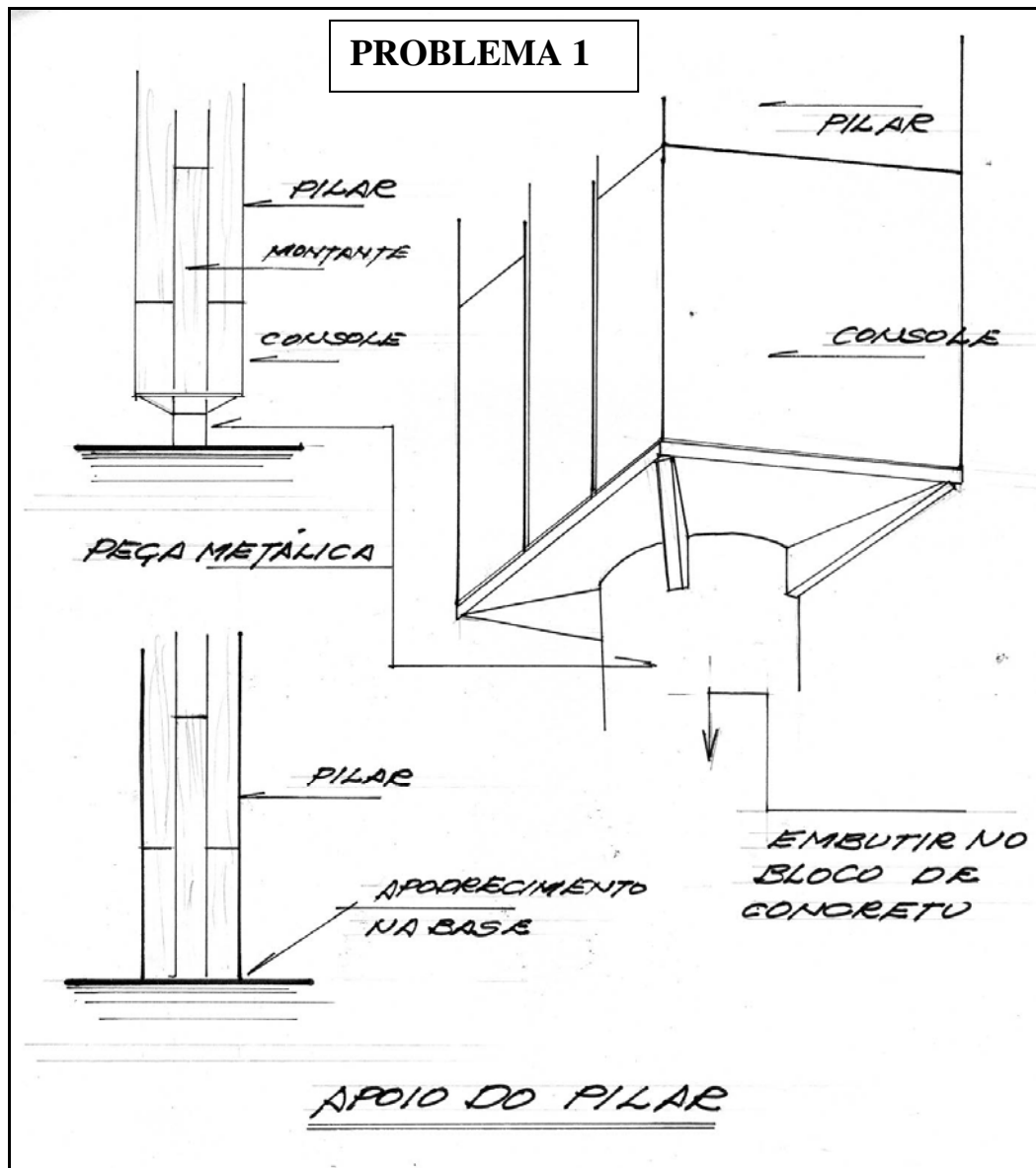


Figura 63 – Umidade no pilar e proposta de peça metálica

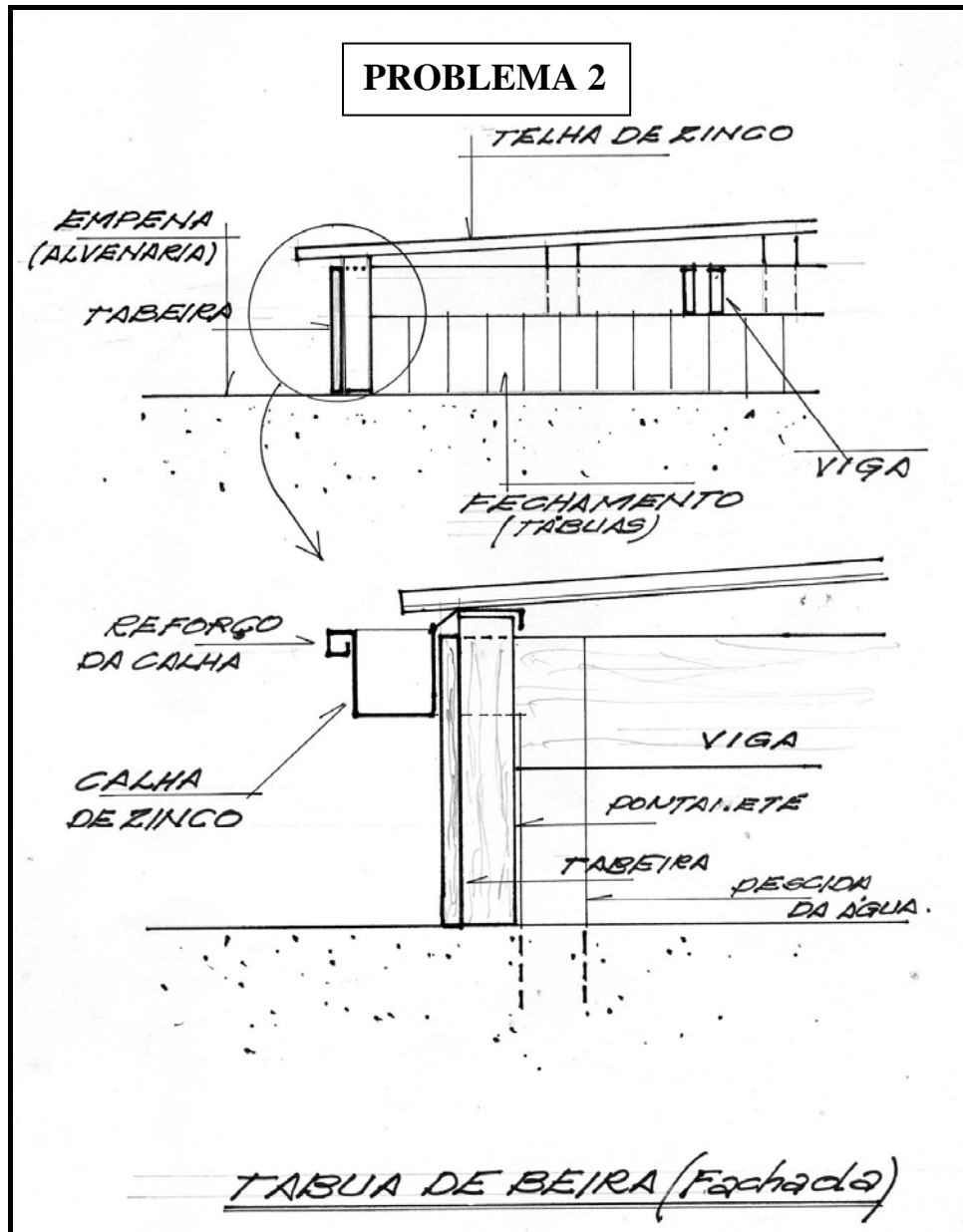


Figura 64 – Água nas empenas e deterioração da tabeira

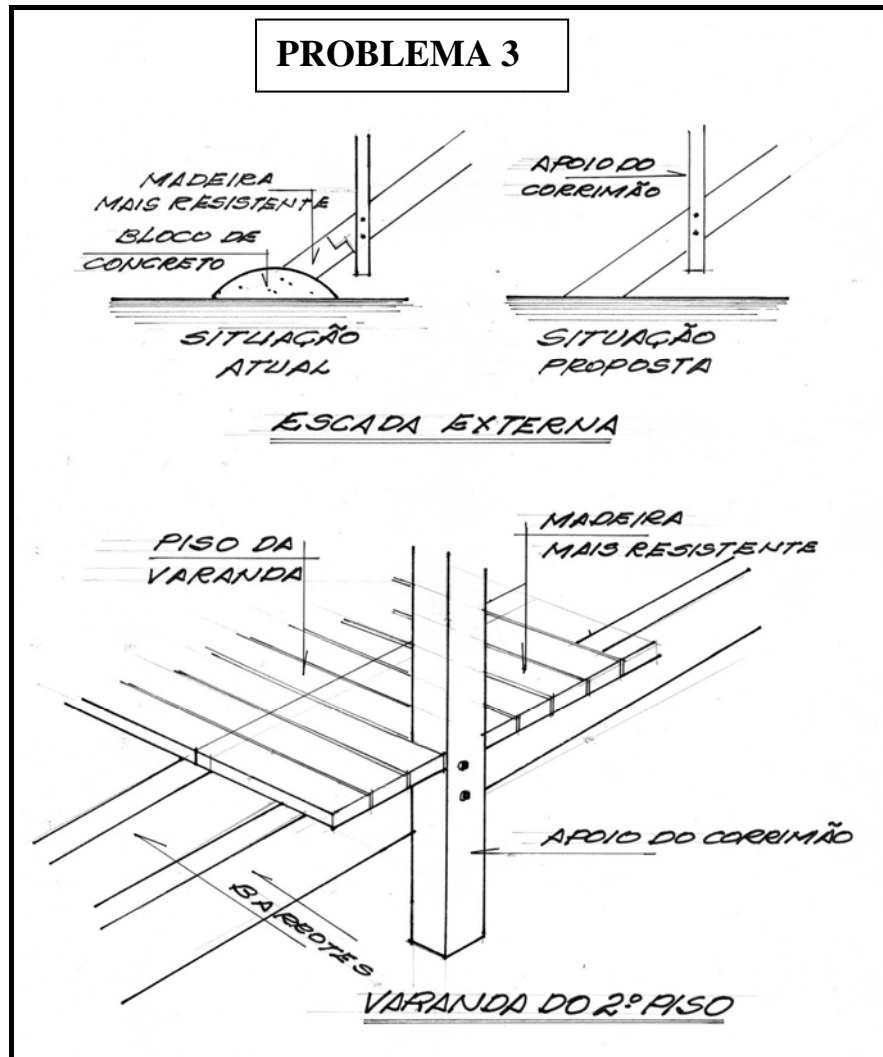


Figura 65 – Apodrecimento da longarina da escada externa e do piso da varanda

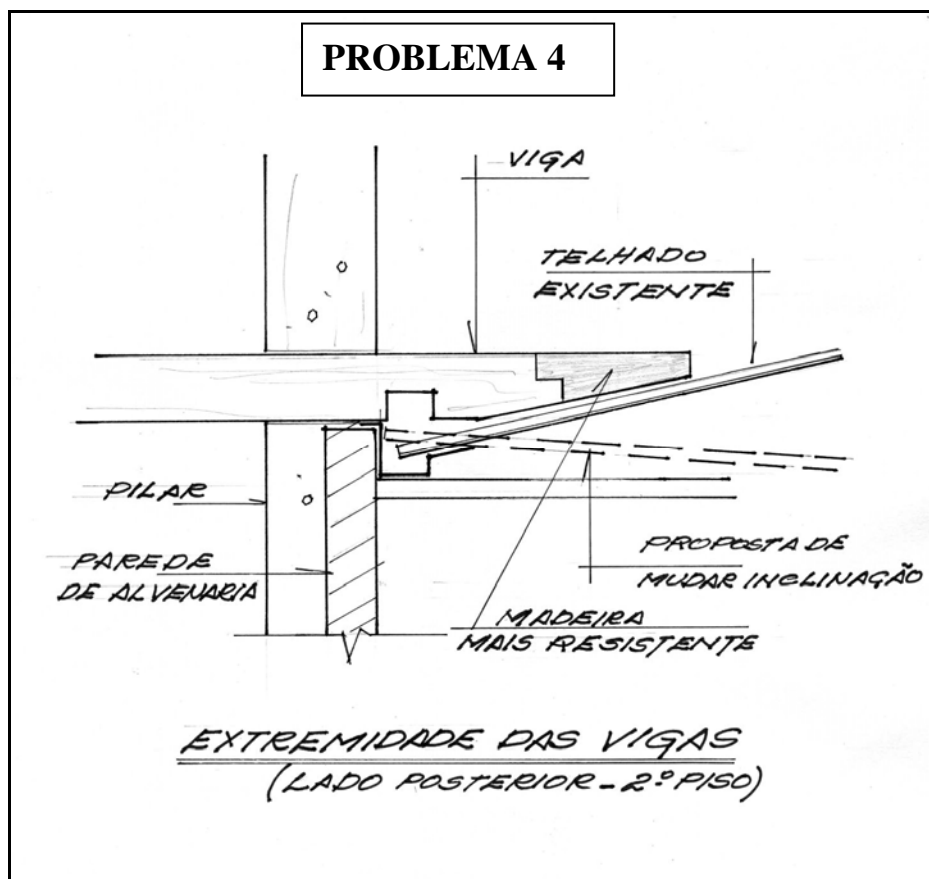


Figura 66 – Deterioração da extremidade da viga na varanda posterior

3.2 Clube Naval

No caso do Clube Naval nos deparamos com três problemas:

Problema 1 – A altura das peças metálicas que servem de apoios e isolamento da madeira dos pilares em relação ao piso é insuficiente para alguns pilares (ver Figura 46, pág. 98).

Solução do problema: Pra solucionar este problema pode-se instalar esta peça existente com altura maior (ver Figura 67, pág. 124).

Problema 2 – Esta mesma peça metálica mostrou-se ineficiente em alguns pilares. Devido a sua forma que provoca retenção de umidade na parte superior desta peça (ver Figura 49, pág. 99).

Solução do problema: Para solucionar este problema propõe-se a diminuição do fechamento lateral desta peça, substituindo-se por outra que possibilite maior ventilação (ver Figura 67, pág. 124).

Problema 3 – Destruição das extremidades das vigas que encontram-se expostas aos raios ultra violetas do sol e às águas pluviais (ver Figura 52, pág. 100).

Solução do problema: Criar uma proteção que pode ser de algum material que não induza o mesmo problema, e que possa funcionar também como pingadeira, no detalhe apresentado foi sugerido o zinco (ver Figura 68, pág. 125).

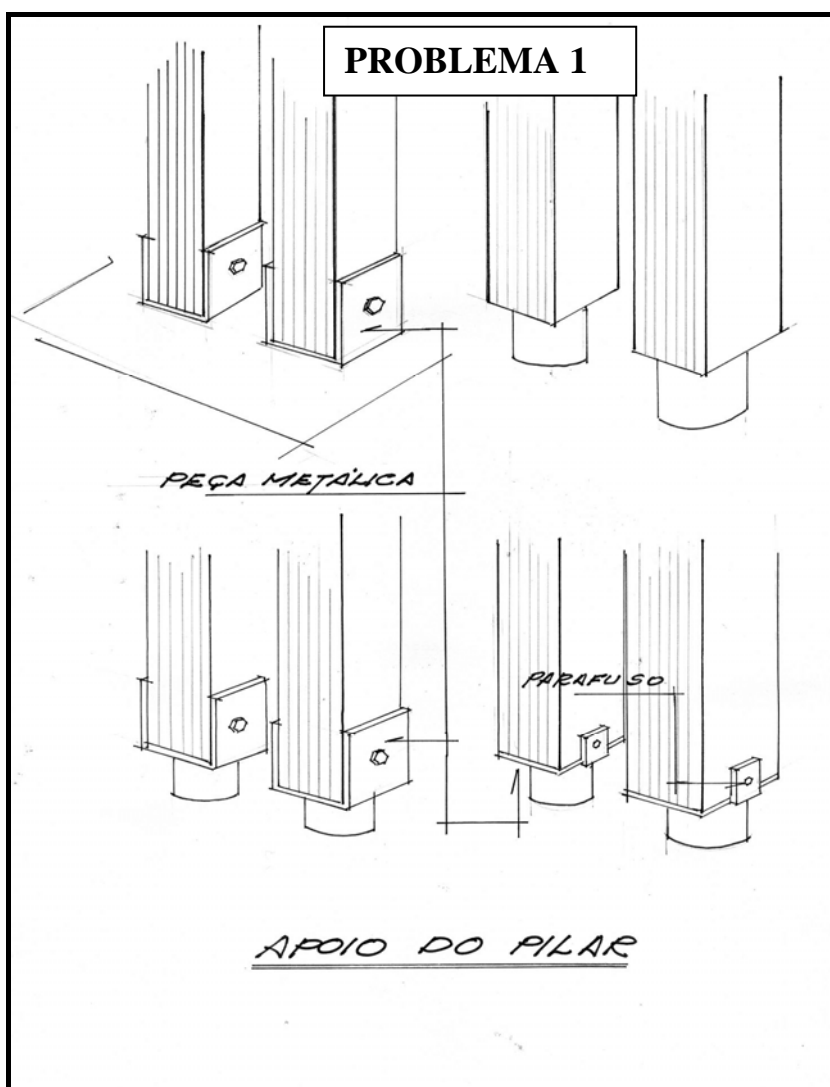


Figura 67 – Pilar sujeito à umidade e proposta de apoio metálico

Fonte: Desenho do autor.

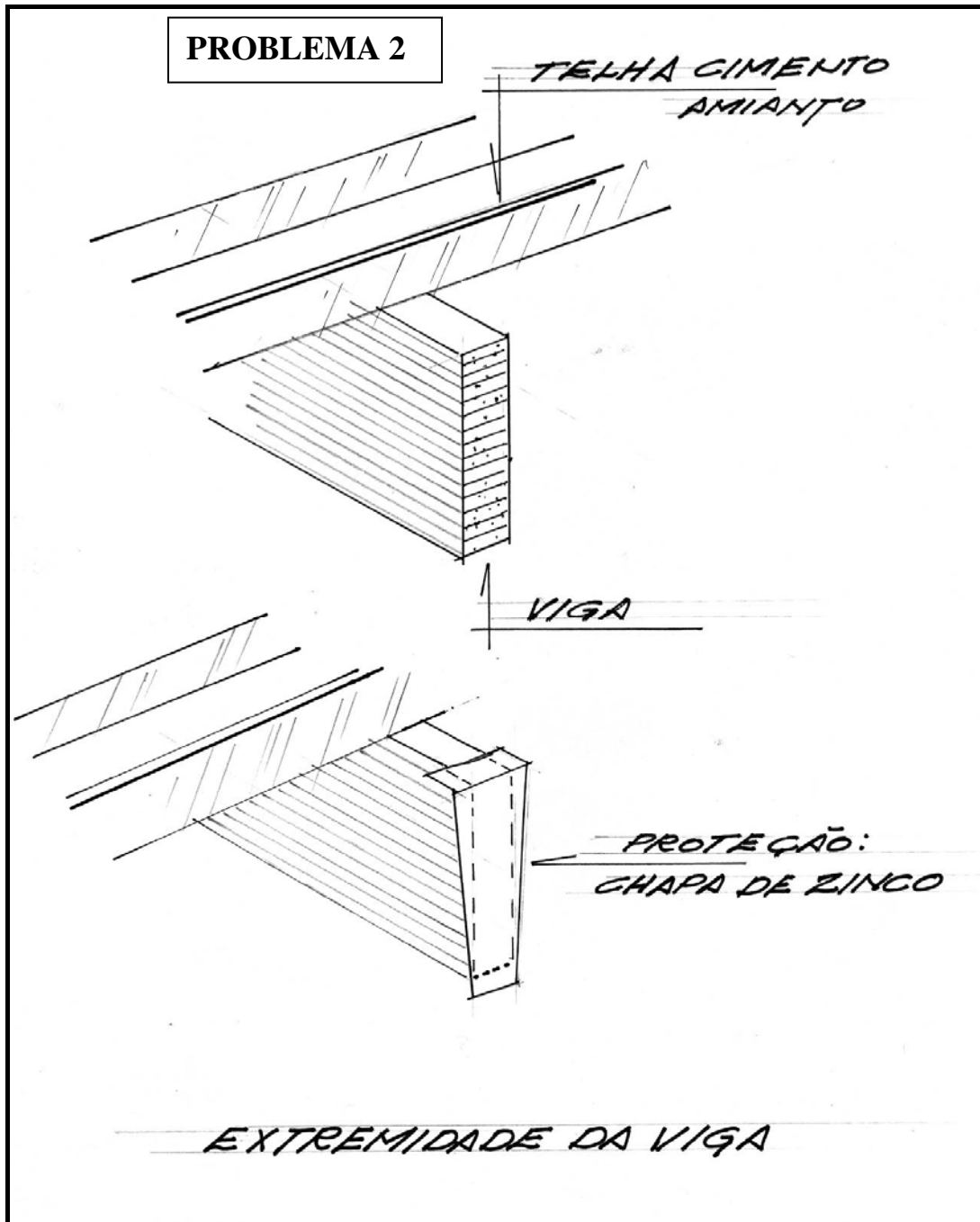


Figura 68 –Deterioração da extremidade da viga

Fonte: Desenho do autor.

3.3 Orquidário

No caso do Orquidário nos deparamos com os seguintes problemas:

Problema único: Retração transversal na extremidade das vigas de cobertura e nos pilares. (ver Figura 57, pág. 106).

Solução do problema: Para manter fechada a abertura provocada pela retração pode-se preenchê-la com uma massa apropriada que contenha uma mistura com a própria serragem da madeira de eucalipto. Pra tentar impedir que as aberturas se alastrem pode-se instalar uma peça metálica de união em forma de “C” ou “S” (.ver Figura 69, pág. 127)

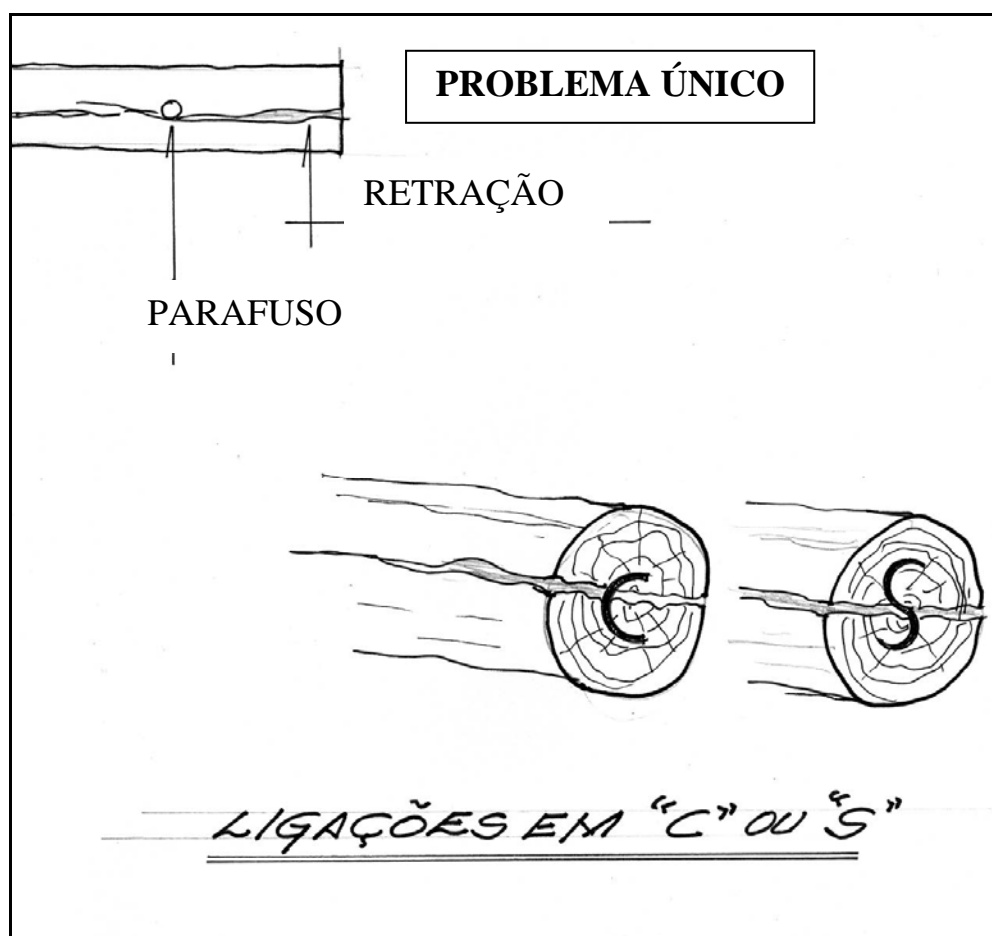


Figura 69 – Retração transversal

Fonte: Desenho do autor.

3.4 Casa Pré-Fabricada

No caso da Casa pré-fabricada os principais problemas são os seguintes:

Problema 1 – Ocorre a retração das paredes, o que não pode ser revertido, porque é um estágio de acomodação da madeira (ver Figura 62, pág. 110).

Solução do problema: Pode-se adicionar uma peça menor nestas aberturas (ver Figura 70, pág. 124).

Problema 2 – deterioração da base das paredes (ver Figura 60, pág. 110).

Solução do problema: A solução deve ser a substituição destas peças (em forma de régua), cortando a mesma em duas partes no sentido vertical. Retira-se primeiro o trecho do meio, depois as extremidades. Para remontar as peças novas procede-se da forma inversa, instalando-se primeiro as extremidades e depois a peça do meio, devendo-se executar um encaixe apropriado para evitar deslizamento (ver Figura 70, pág. 129).

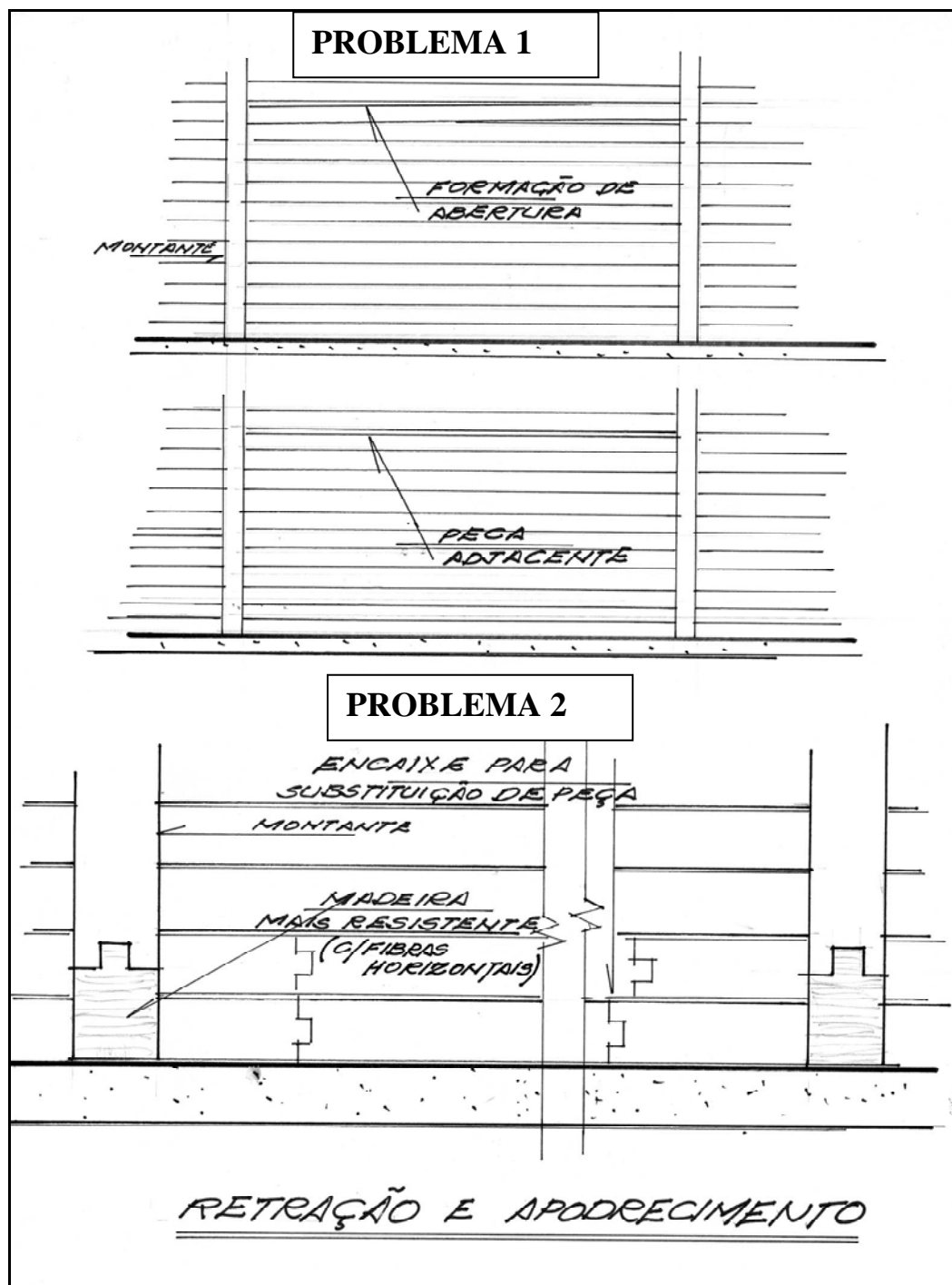


Figura 70 – Retração das paredes e apodrecimento das peças da base

Fonte: Desenho do autor.

3.5 Propostas de Detalhes Gerais

A proposta para detalhes típicos procurou atender os pressupostos acima definidos para projetar uma edificação de madeira que resista aos agentes naturais.

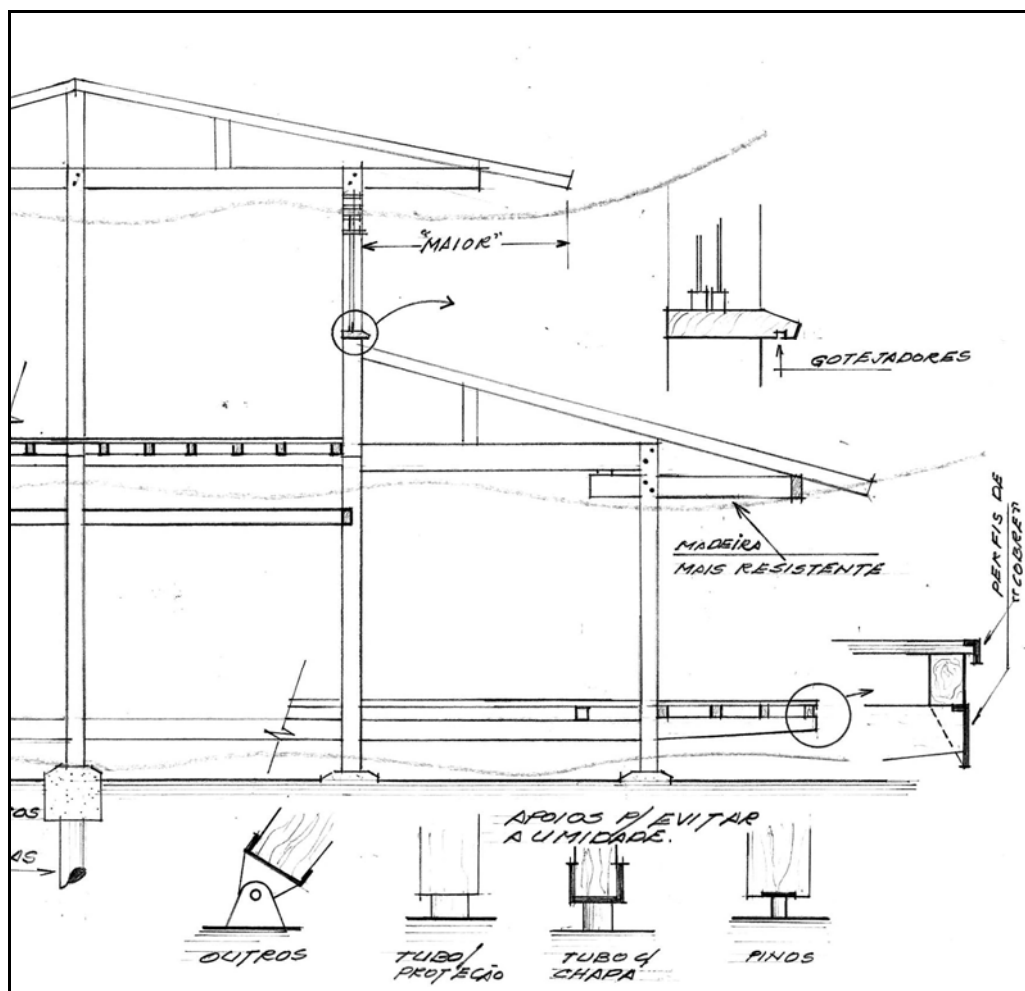


Figura 71 – Corte demonstrativo com detalhes estruturais (geral)

Fonte: Desenho do autor.

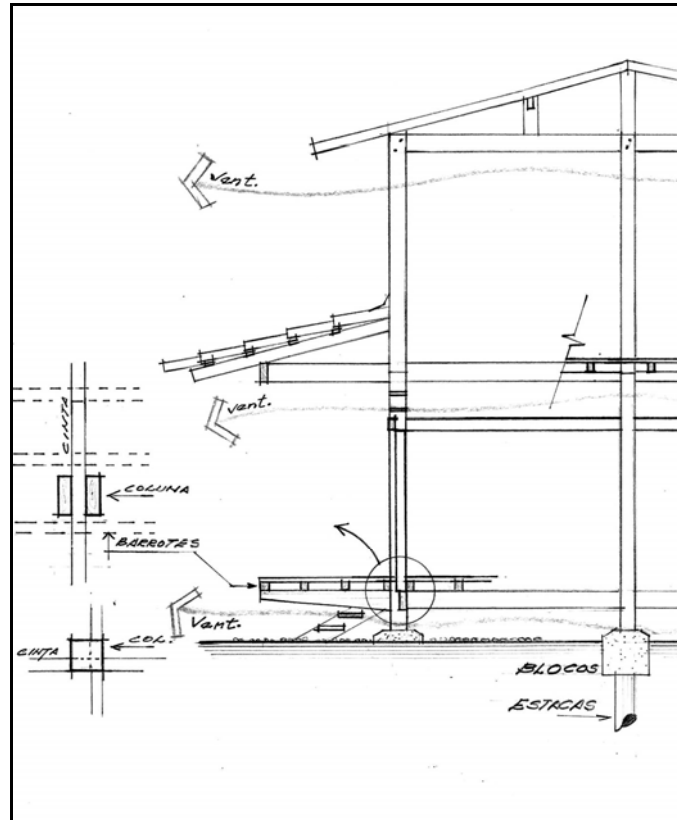


Figura 72 – Corte demonstrativo com detalhes estruturais (parcial nº 2)

Fonte: Desenho do autor.

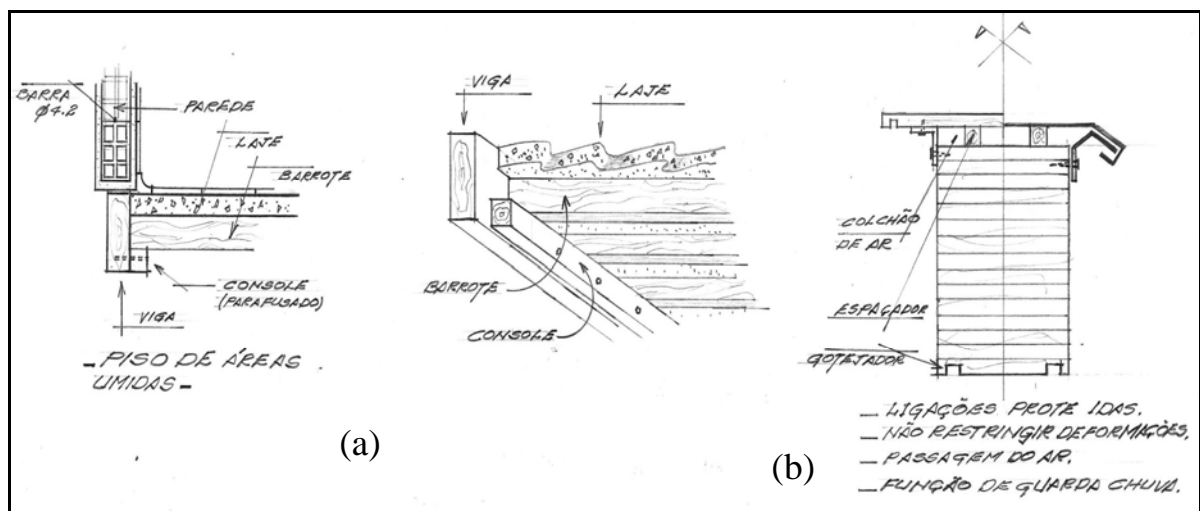


Figura 73 – (a) Detalhes para pisos de áreas molhadas e (b) Longarina de ponte de madeira

Fonte: Desenho do autor.

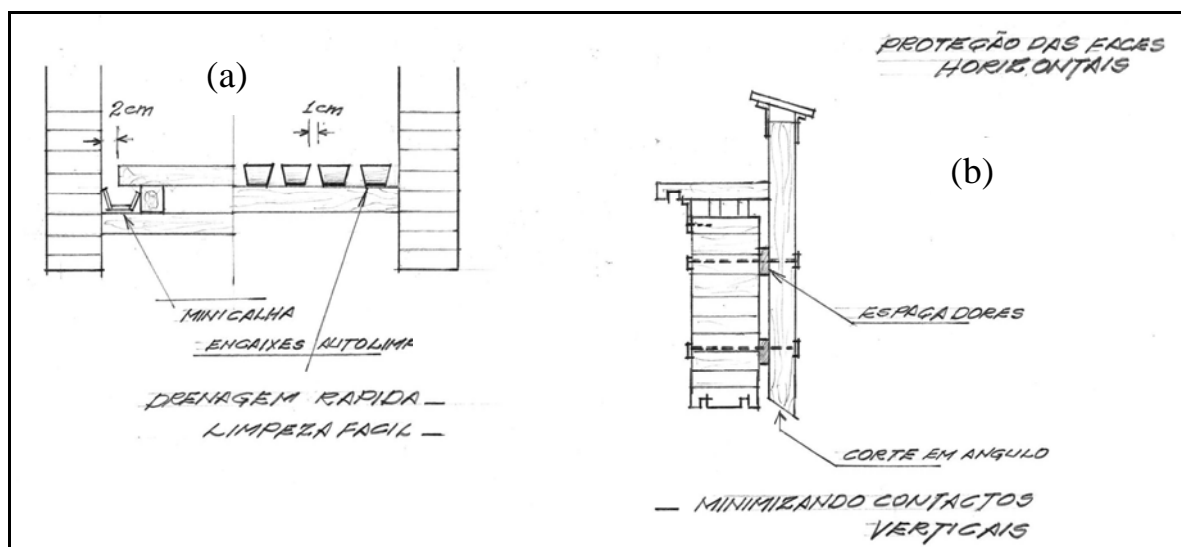


Figura 74 – (a) Detalhes para pisos de áreas molhadas e (b) Ponte de madeira (longarina e guarda corpo)

Fonte: Desenho do autor.

Alguns dos detalhes acima estão baseados em soluções encontradas para pontes de madeira porque as pontes de madeiras são também um bom teste para a resistência às intempéries já que nunca se cogita a construção de pontes cobertas devido ao acréscimo do peso e do custo da estrutura e mais a cobertura.

Os detalhes e as soluções mais gerais pressupõem um dimensionamento preciso calculado e devem seguir todo o padrão de cálculo estrutural da norma sobre estruturas de madeiras.

Os detalhes são definidos de forma específica a cada projeto, por isso tem soluções múltiplas. E estão relacionados com a criatividade, o conhecimento e a vivência com emprego de madeira. Isso quer dizer que os detalhes surgem do conhecimento teórico do arquiteto através do desenho e de pesquisas bibliográficas somadas às experiências práticas já assimiladas e as que ocorrem nas obras abordadas presentes como casos patológicos. Este processo é contínuo e diverso, pois para uma mesma situação pode haver várias soluções. O importante é que sejam tomados em conta sempre os princípios apontados.

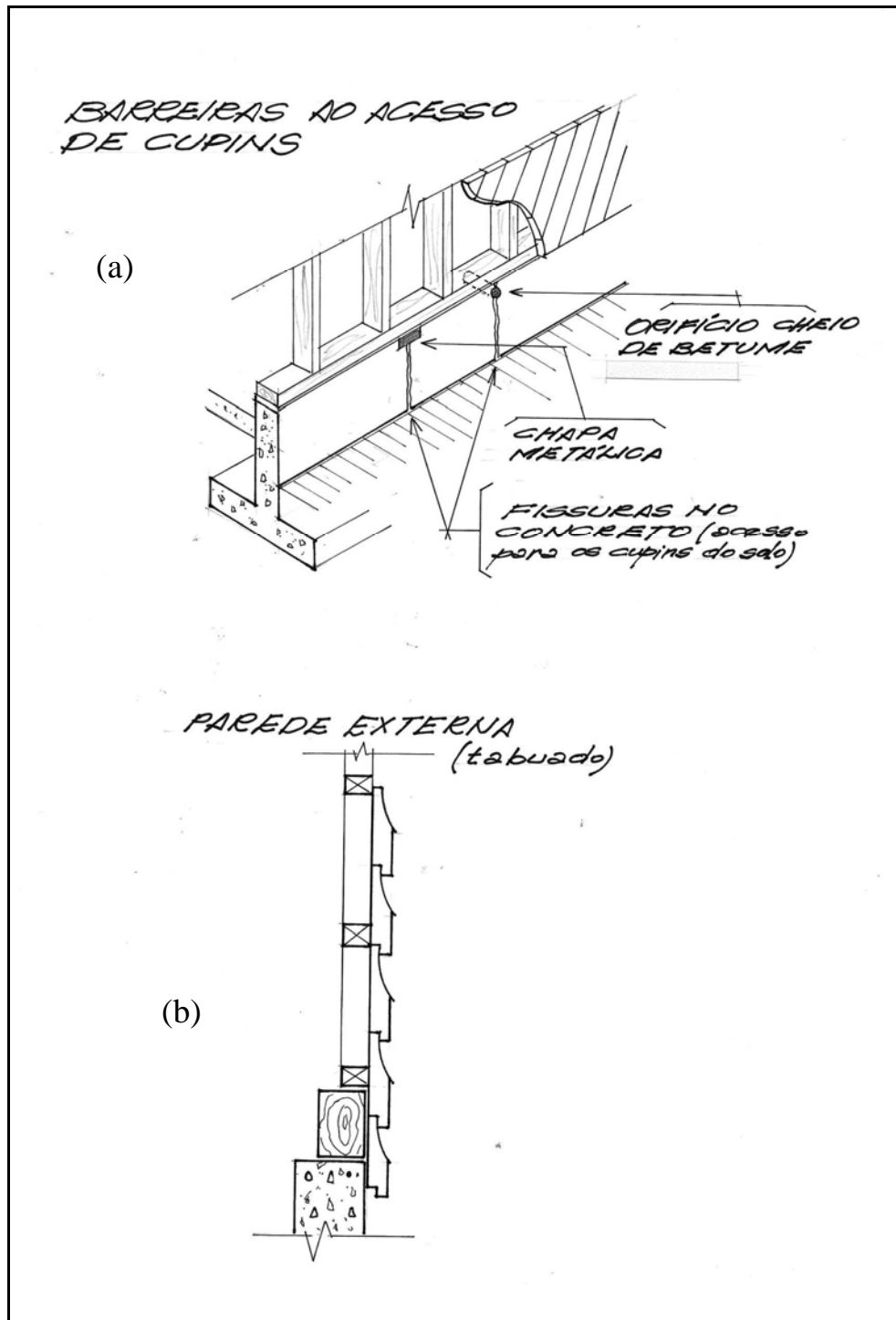


Figura 75 – (a) Barreira contra cupins e (b) fachadas (paredes externas) em tábuas

Fontes: (a) Johnson, 1973, p. 244 e (b) Desenho do autor.

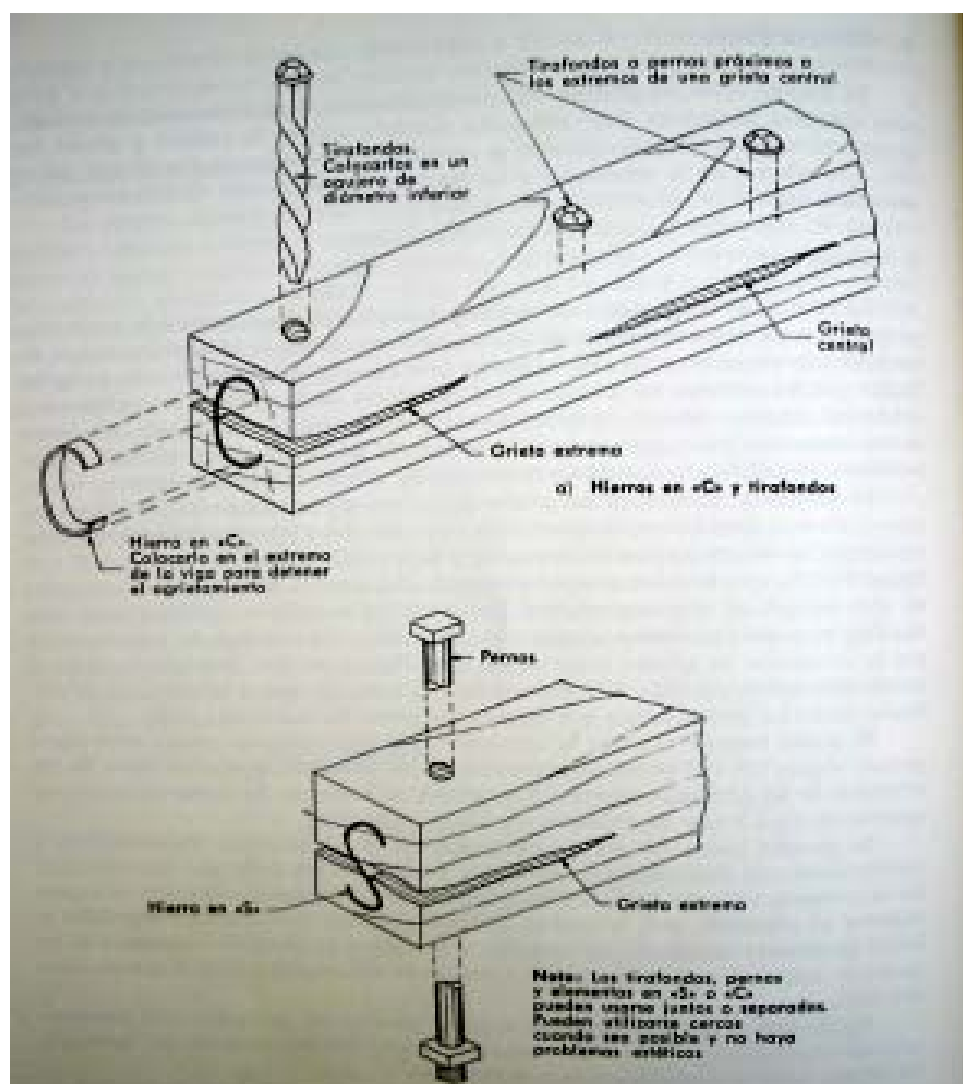


Figura 76 – Reparação de gretas

Fonte: Johnson, 1973, p. 244.

Esses elementos metálicos usados para reparação das gretas são calculados para uma determinada pressão de serviços entre a madeira e os parafusos, no caso as chapas de ferro em <C> e em <S>.

O reforço destes setores   importante porque protege contra a penetrao de águas nas fendas expostas e em caso de haja jogo nas uniões os impactos se concentram nos elementos isolados em vez de ser absorvido pelo conjunto da obra.

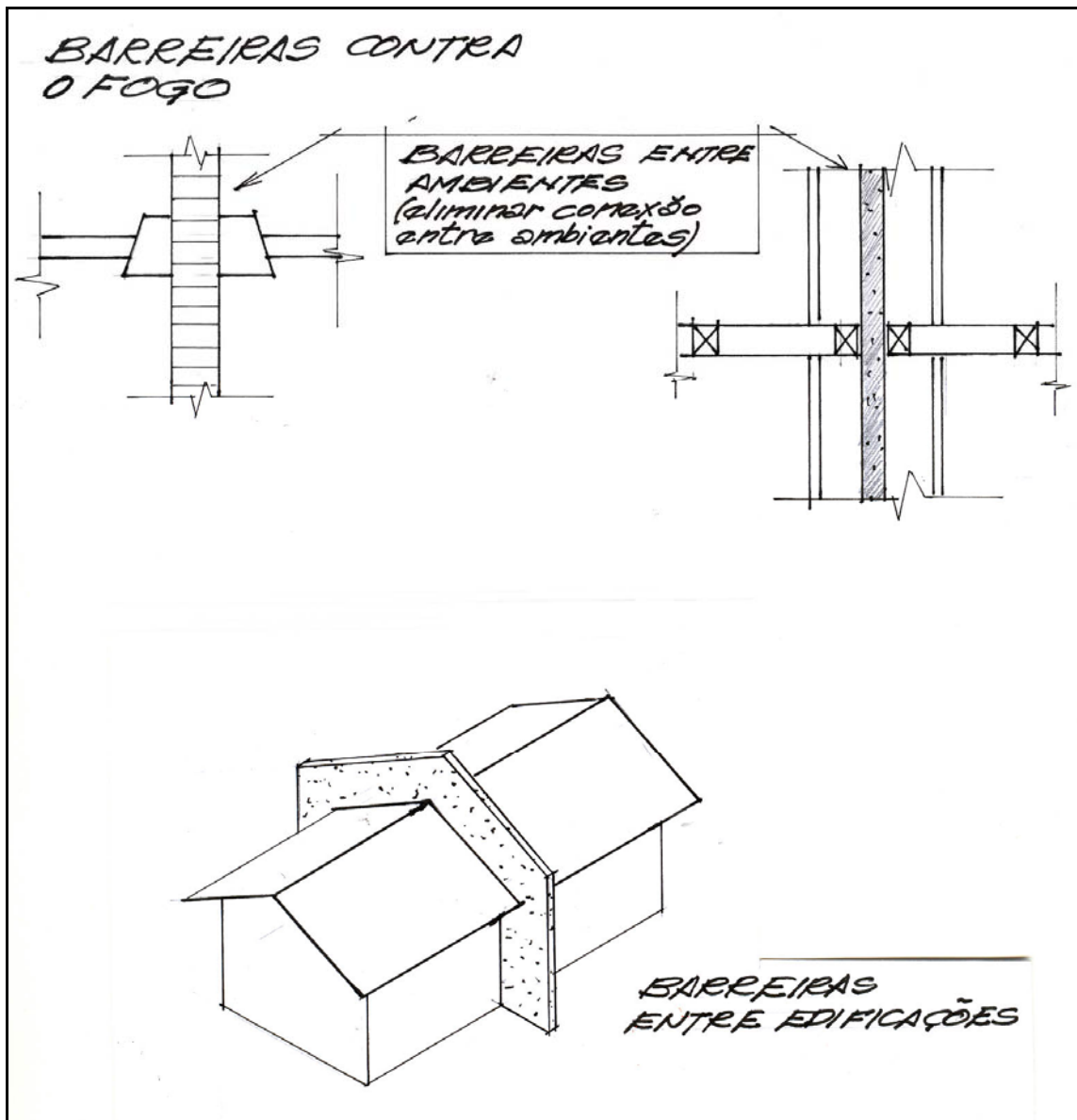


Figura 77 – Barreiras contra o fogo

Fonte: Desenho do autor.

3.6 Princípios para o Projeto de Arquitetura de Edificação em Madeira Visando a Durabilidade

3.6.1 A implantação da obra

A implantação correta deve-se abrir para os ventos dominantes, com insolação confortável. Preferivelmente nas quatro laterais na mesma proporção. Evitando situações extremas em que:

- a) O sol incida com muita intensidade estando perpendicular às fachadas e recebendo insolação em excesso, principalmente entre 10:30 h e 16:00 h. Neste intervalo é forte a intensidade dos raios ultravioleta.
- b) O sol incidindo paralelo às fachadas não fornecendo boa insolação para secagem completa de certos locais. Casas bem ventiladas por dentro e por fora são convenientes, já que podemos bloquear a ventilação interna através de aberturas controláveis (janelas e elementos vazados).
- c) Outra questão relativa à implantação é a fixação do imóvel no terreno de tal forma que possa favorecer a manutenção atentando para o ciclo e a absorção das águas das chuvas elevando toda a edificação do solo.
- d) Remover todo o entulho de natureza ligno-celulósica do local onde estiver sendo utilizada estruturas de madeiras como prevenção contra o ataque de cupins.
- e) Evitar o acúmulo de água e favorecer a drenagem permanente das áreas de construção como prevenção aos fatores biológicos.

3.6.2 A edificação

De acordo com verificações feitas nos casos de construções utilizando madeira entre os componentes construtivos sujeitos ao desgaste pelos fatores ambientais.

Aqui a questão é integrar a tecnologia ao sistema construtivo e aos aspectos do uso do imóvel com os fatores naturais. Desta forma se intervém no aspecto construtivo

visando as melhores e mais adaptáveis possibilidades de um desenho que evitem a incidência ou a permanência dos impactos causados pelos fatores ambientais.

Com relação à umidade:

- a) suprimir as causas do apodrecimento com soluções de projeto;
- b) não deixar a madeira em contato com o terreno, caso seja inevitável colocar uma sapata, que também deve ter um recobrimento por dentro para a umidade do terreno não passar para a madeira através da própria sapata;
- c) a estrutura não pode ter uniões que estejam suscetíveis a umidade. Todas as peças devem estar bem ventiladas, podendo receber água ocasionalmente desde que não permaneça úmida e muito menos encharcada continuamente;
- d) evitar a ocorrência de rachaduras nas lajes e fundações e proceder à correta vedação quando verificadas, para dificultar o acesso dos cupins;
- e) estabelecer barreiras físicas de proteção, por meio de escudos metálicos de ferro galvanizado, zinco ou cobre, para dificultar o acesso dos cupins;
- f) devem ser adotadas todas as disposições necessárias para evitar a ascensão, nas paredes, blocos e arrimos;
- g) nas fachadas ventiladas, as águas de infiltração e de condensação eventuais, devem ser drenadas rapidamente para o exterior, sem que essa drenagem seja obstruída por peças da estrutura ou das suas ligações, ou por inclinações;
- h) as juntas das fachadas não devem ser permeáveis, nem permitir a penetração da água por capilaridade;
- i) as fachadas não ventiladas, incluindo os seus revestimentos, devem ser praticamente estanques à água;
- j) as fachadas não devem ter elementos salientes que dificultem o rápido escoamento da água;

k) as peças metálicas de ligação (pregos, cavilhas, grampos, parafusos, esquadros, etc.) deverão ser escolhidas de modo a resistir à corrosão e a não provocar reações anormais de coloração em contato com as madeiras aplicadas tendo em conta os estados de umidade a que a madeira pode ser submetida;

l) nenhum condutor de fluidos (água, gás) poderá ser incorporado numa divisória ou num pavimento de madeira ou material derivado, nem, em geral, em qualquer elemento oco que não seja ventilado;

m) o telhado deve ampliar-se para não respingar água na base dos pilares.

Com relação à ventilação:

a) proteger a obra de modo que a madeira permaneça seca, que o ar circule ao redor das vigas e que não incida água, ou permitir o rápido escoamento da água. E não encerrar as estruturas em espaços não arejados;

b) construções totalmente erguidas do solo permitem uma total ventilação das peças internas e inferiores e também para manter a total absorção das águas de chuva. Estas águas não devem entrar em contato com a madeira que deverá estar um pouco acima, isolada por outro material impermeabilizante;

c) o desvão da cobertura e a caixa de ar sob o pavimento térreo serão, obrigatoriamente, ventilados através das duas séries de aberturas ou orifícios de ventilação dispostos ao longo de duas paredes opostas; a seção e o número de abertura ou orifícios deverão seguir ao bom senso já que não existe uma regulamentação para isso no Brasil; devem ser adotadas disposições para evitar as intrusões de animais;

d) a altura livre entre o solo e a face inferior das vigas dos pavimentos deve ser tal que a ventilação da caixa de ar se possa realizar efetivamente em toda a sua área;

Com relação aos fatores biológicos:

a) evitar a ocorrência de rachaduras nas lajes e fundações e proceder à correta vedação quando verificadas, para dificultar o acesso dos cupins;

Com relação à inspeção e substituição de peças:

b) no caso de deterioração acidental de elementos das fachadas ou da cobertura, tais elementos devem ser reparados ou substituídos sem grande dificuldade;

c) deve-se proceder à substituição de certos materiais cujo envelhecimento ou desgaste sejam inevitáveis; nesse caso deve-se prever, desde a construção, a possibilidade da desmontagem dos materiais envelhecidos ou gastos, assim como a montagem de materiais novos e de fácil obtenção;

d) ter como garantia na manutenção de elementos construtivos de madeira uma inspeção e conservação contínua e de primeira ordem. E sondagens periódicas nas zonas em processo de deterioração.

3.6.3 Os materiais

De acordo com o Manual de Preservação da Madeira do IPT, há três atitudes básicas no sentido de atenuar a ação dos agentes destruidores da madeira:

a) usar espécie de elevada resistência biológica. Essa medida não impede a ocorrência dos demais fenômenos de natureza física e/ou química;

b) incorporar produtos químicos à madeira: preservativos, ignífugos e acabamento superficiais;

c) introduzir alterações químicas permanentes na estrutura dos componentes poliméricos da madeira.

Partindo dessas determinações, pode-se ver o quanto é vulnerável e imprecisa a solução deste problema da durabilidade das madeiras, cabendo então outros estudos complementares específicos. Atentando aqui as medidas projetuais, não no sentido de atacar aos *fatores ambientais*, porque isso já se viu que é impossível, mas procurando conviver com eles de forma racional e evitando que reincidam para que não provoque estragos.

Sobre o material, em nível de soluções de projetos, recomenda-se o seguinte:

a) construir com madeira seca, nem verde, nem podre;

b) sempre que possível colocar peças menores de fácil substituição para que se desgastem primeiro; desta forma se estará prevenindo as outras peças maiores e mais importantes;

c) evitar qualquer contato direto com o solo, criando sustentações que isolem a estrutura da terra;

d) manter uma ventilação por baixo dos pisos de madeira para evitar umedecimento.

e) proteger com cobertura toda estrutura ou vedações (paredes, guarda corpos, janelas) de madeira;

f) evitar cavidades para não ter acúmulo de umidade e sujeira, pois a acumulação de resíduos retém a umidade;

g) não usar madeiras que já tenham fendas ou fraturas por compressão;

h) deve-se usar madeiras resistentes à podridão sem desprezar as condições anteriores.

3.6.4 Premissas dos projetos em madeira para proteção contra incêndio

Para o comportamento estrutural da madeira ante o fogo é necessário que seja seguido certos requisitos como apresentamos a seguir:

Dos componentes de madeira na constituição:

a) vigas e colunas – Usar dimensões adequadas para que não entre em colapso no caso de se incendiar;

b) muros – Uma estrutura de madeira revestido de gesso resiste igual a uma estrutura de aço revestido do mesmo material ou um muro de tijolo de 11cm de espessura sem reboco.

c) piso – Os pisos revestido de reboco isolante com areia, gesso ou cimento aumentará a resistência de madeira que está por dentro; e se estão expostos alcança uma hora adicional de resistência ao fogo.

Isolamento de fonte de cabos e de iluminação:

- a) observar a direção do vento predominante de tal maneira que este não se converta em um elemento favorável a propagação do fogo;
- b) distanciar o condutor positivo do negativo das instalações elétricas;
- c) usar canaletas que isolem os condutores de eletricidade;
- d) usar disjuntores e fusíveis com capacidade de carga menor do que a dos próprios condutores;
- e) desenhar as instalações com critérios de agrupamento por áreas e tipos de usos, de modo que a falta de um circuito não afete a funcionamento do outro.

CONCLUSÃO GERAL

Quando se propõe fazer um projeto usando madeira como elemento construtivo em pequena ou em grande escala, tem-se que ter em mente certos requisitos básicos. Os requisitos para a execução de um projeto em madeira são: a) a determinação do tipo de madeira a ser usada; b) a definição de uma tecnologia adequada às circunstâncias; c) as condicionantes ambientais relacionadas ao clima tais como: a insolação os ventos as chuvas; d) o programa da obra; e) o projeto executivo; f) ter conhecimento do material ou assessoramento e conhecimento de obras executadas.

Tudo isso e talvez algo mais, porque o projeto é um processo interminável. Sempre que ele é revisado, tem-se uma nova idéia. Todavia, como se trata de um procedimento para que se realize uma certa obra, deve-se, em algum momento, parar esse desenvolvimento para poder realizá-lo. Esse momento deve ser quando já estiverem maximizadas todas as possibilidades de acerto e minimizadas as possibilidades de erros. E quando se tiver o domínio de todos os dados para análise, poderá ser concluída uma proposta espacial. Mas é bem sabido também que um projeto continua o seu processo de adaptação nas ações futuras, nas quais a sua execução toma o aspecto da manutenção e da conservação. O melhor projeto sob o ponto de vista da conservação é aquele que, na sua existência, requer menos manutenção.

É importante o conhecimento da espécie de madeira para o estabelecimento das dimensões adequadas para assim se ter segurança na proposição dos padrões de peças e as formas de utilização nos projetos. A madeira tem muitas propriedades e elas mudam de um tipo de madeira para outro. No entanto, quando se trata apenas da variável durabilidade, numa proposta física em que a madeira esteja totalmente protegida, a preocupação com a definição do tipo de madeira concentra-se principalmente na resistência da madeira aos esforços mecânicos. De modo geral, todavia, para as edificações de caráter permanente, a questão da durabilidade deve ser uma preocupação básica.

Com relação à tecnologia a ser utilizada é importante que esta esteja de acordo com as possibilidades culturais e de desenvolvimento tecnológico de quem pretende levar a efeito a iniciativa da obra. Do contrário, utilizando-se tecnologias importadas, o custo

aumentará muito. E quando não se utiliza uma tecnologia conhecida e, portanto, mais apropriada, aumenta-se também a complexidade para a realização do projeto. Isso não invalida o fato de que novas tecnologias possam ser introduzidas ou, ainda melhor, que possam ser geradas ou produzidas por meio de um processo de pesquisa capacitado para desenvolver soluções práticas em condições de serem bem assimiladas. Para completar essa questão da tecnologia, que é um item essencial para a definição do desenho dos projetos, também se pode ainda afirmar que o uso da madeira não invalida a utilização de outros materiais. É conveniente que se busque auxílio de outros materiais inorgânicos mais duráveis como, por exemplo, o aço e o concreto. Estes poderão servir de escudo ou barreiras contra a deterioração para a preservação da madeira. Situações desse tipo são, por exemplo, os apoios de pilares com peças metálicas ou blocos que mantenham a madeira suspensa e distante nas uniões causadoras da deterioração.

O conhecimento do clima local onde será realizada a obra é de fundamental importância para a realização de um projeto em madeira. O sol, as chuvas e o vento influenciam nas condições das peças de madeira, as quais devem estar inseridas no projeto e, por isso mesmo, a finalidade da obra, a sua forma geral, a sua estrutura e todos os demais componentes de madeira devem estar submetidos a certas disposições muito precisas, a fim de evitar a ação indesejável desses agentes naturais. Tomando-se tais circunstâncias como princípio, conseqüentemente, elas influenciarão a concepção geral do projeto e os seus detalhes construtivos. São parâmetros que devem ser seguidos para que a falência da madeira usada como material de construção não venha a invalidar um empreendimento caro como normalmente são as edificações.

O programa da obra também obriga certa atenção para as conseqüências que implicam a durabilidade da madeira usada na arquitetura. A amplitude de informações necessárias que pode ter um projeto, principalmente quando se trata da sua relação com o uso dos seres humanos, obrigando ao arquiteto uma capacidade de integração de ocorrências possíveis. Logicamente tal fato implicará em detalhes muito mais abrangentes do que um estudo específico sobre o material. No entanto, certos usos podem provocar riscos ocasionais, os quais podem prejudicar a conservação. Já que se está tratando da madeira como material de construção, todos os riscos possíveis em decorrência do uso humano ou qualquer outro que seja conseqüente da finalidade do projeto deve fazer parte do rol de medidas preservadoras da madeira.

O projeto executivo para a construção de uma obra de arquitetura de madeira deve ser bem detalhado, devido a enorme trabalhabilidade que tem a madeira, pois as possibilidades criativas são imensas. Esse nível pode também ser mais baixo; nesse caso, o nível tem a ver com a sua concepção, que irá definir se é mais importante um projeto simples de construir com aproveitamento de peças prontas, tendo apenas que agregá-las para construir um edifício, como no caso de se utilizar peças prontas existentes no mercado. Ou se é mais importante adotar um sistema mais complexo, no sentido de que ainda se tem de produzir as peças para depois construir o edifício. Por isso, deve-se ter em conta precisamente em que nível de conhecimento se encontra a capacidade tecnológica para realizá-lo. O nível do projeto também está relacionado à tecnologia, porque existem certas tecnologias que requerem um nível de detalhamento mais amplo devido à quantidade maior de peças, e outras por economia podem ser desenvolvidas por um processo mais simples.

As características da equipe de execução para se definir qualquer projeto em arquitetura que tenha uma certa complexidade é a interdisciplinaridade, com um acercamento das áreas que mais estejam inter-relacionadas às características do tema. Quando se trata de projeto em madeira, esse procedimento não foge à regra. Além dos conhecimentos inerentes à função do edifício, e outros conhecimentos relativos à resistência mecânica que deve existir para qualquer edifício, deve-se contar com a complementação do conhecimento das áreas da biologia e da química, para se prever o ataque dos agentes biológicos ou os efeitos do sol, da água, da temperatura e da poluição atmosférica que podem ser prejudicial à madeira. Quando se trata da execução dos projetos, também é necessária uma capacitação específica que muitas vezes requer que o profissional tenha cursos direcionados para a prática e o manuseio da madeira.

A avaliação dos casos existentes dos projetos de obras de madeira é de muita importância para as decisões futuras sobre que tipo de tecnologia que se deverá adotar. As obras já construídas sempre são situações testadas, e passíveis de estudos e análises. Por meio delas pode-se comprovar se uma determinada estratégia que foi adotada poderá funcionar bem ou não. Para o caso de obras de madeira, principalmente quando se trata do aspecto da durabilidade, isso é muito importante, pelo fato de se poder improvisar e tirar proveito da enorme capacidade que tem a madeira de tornar uma realidade física a imaginação do arquiteto.

Devido às vantagens apresentadas para o emprego da madeira, pode-se concluir que é o material mais sustentável, por ser renovável e de fácil reciclagem no meio ambiente. Somando a isso a sua enorme trabalhabilidade, não necessitando de processos industriais complicados e poluidores para o seu processamento, coloca-se a madeira numa posição bastante competitiva em relação aos outros materiais e, quem sabe, principalmente pelas suas qualidades, por ser um material sustentável e com melhores condições para ser mais bem empregado no futuro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, C. *Ensayo sobre la Síntese de la Forma*. Buenos Aires: Ediciones Infinito, 1966.

ALMEIDA, J G. *Complexidade em Arquitetura e Urbanismo: Uma Questão de Abordagem* (apostila de aula).

ARGAN, G. C. *El Concepto del Espacio Arquitectonico desde el Barroco a nuestros Dias*. Buenos Aires: Ediciones Nueva Visión, 1961.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS –ABNT. NBR 7190. Projeto de Estrutura de Madeira, 1997.

BAUMSCHLGER, C.; EBERLE D. Madeira Nova, in: *Arquitetura e Urbanismo*. n. 89, p.35-37.

BERNSTEIN B. *A Estruturação do Discurso Pedagógico – Classe, Códigos e Controle*. Petrópolis: Vozes, 1996.

BUMENSCHHEIN, R. N. *A Sustentabilidade na Cadeia Produtiva da Industria da Construção*. Tese (Doutorado).Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, 2004.

CALDAS, Z. *Informações pessoais: Professor Zanine Caldas sobre durabilidade de construções antigas em madeira*.

CARDOZO, J. As casas sobre palafitas do Amazonas, in: *Revista Módulo*, n. 1, mar. 1955, p.43.

CARVALHO, R.M.M.A.; SOARES T.S. e VALVERDE S. R. *Setor Florestal é Destaque na Economia Brasileira*. Revista da Madeira, nº 95, ano 16, abril de 2006, site: www.periódico.capes.gov.br, acessado em 13 de maio de 2006.

CURSO As técnicas de APO como instrumento de análise ergonômica do ambiente construído. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. (apostila).

CZJKWISKI, J.; SILVA, E.; OLIVEIRA, R. C.; MHFUZ, E. da C.; MARTINEZ, A. C. *Projeto Arquitetônico Disciplina em Crise, Disciplina em Renovação*. In: COMAS, C. E. (Org.); DEMO, P. *Avaliação Qualitativa*. Campinas, SP: Autores Associados, 1994.

ESCOREL F. J. O. *Madeira Laminada e Colada* (apostila de aula) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo.

ESTRADA, M. H. Onde há vida há sonho, in: *ARQ Design*: São Paulo, n.10, p.48-53, jul./ago. 1999.

FIGUEROA V. Pisos de madeira. In: *Téchne (PINE/IPT)*. São Paulo, n. 91, p.61-65, out. 2004.

FREITAS, A. R. *Madeira: material nobre pouco valorizado no Brasil (Conferência)*. *Madeira na Arquitetura Construção e Mobiliário* (livro). Editora Projeto, p.5-25, 1989.

FREYRE G. *Casa Grande & Senzala*, Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1963.

GORMAN, T. M.; FEIST, W. C. *Chronicle of 65 Years of Wood Finishing Research at the Forest Products Laboratory*. United States Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin, USA, 1989.

GRAEFF E. A. O Edifício. São Paulo: Projeto. In: *Cadernos Brasileiros de Arquitetura*, 1974.

GUIDONI, E. *Arquitetura Primitiva*, Madrid: Aguilar.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Sistema construtivo para habitações de interesse social em madeira de reflorestamento de pinus. In: *Revista Construção*, São Paulo, Relatório n. 22.744/85 e n. 25995/87 do IPT.

JOHNSON, S. M. *Deterioro, Conservacion y Reparacion de Estructuras*. Madrid: Editorial Blume, 1973.

KAHN, L. *Cobijo* (título original: Shelter, Califórnia: Internacional Copyright, 1973). Madrid: Blume Distribuidora, 1981 (Série El Diseño del Entorno).

KALTENBACH, F. Roof Formmith a Symbolic Content Toraja Houses in Sulawesi, Indonesia. *Detail Zeitschrift für Architektur + Baudetail*. Alemanha, n. 39, p.780-785, jul./ago. 1999.

KANAN, M. I. *Arquitetura nas regiões de colonização germânicas em Santa Catarina* (artigo sem citação).

KOSIK, K. *A Dialética do Concreto*. Brasil: Paz e Terra, 1976.

KROPF, F. W. Durabilidade e Detalhes de Projeto – O resultado de 15 anos de contínua implementação. In: *Madeira Arquitetura e Engenharia*. Universidade de Marília. São Paulo, ano 1, n.1, p.7-12, jan. e abr. 2000.

KRÜGER, M. J. T. *Teoria e Analogia em Arquitetura*. São Paulo: Projeto, 1986.

LEPAGE, E. S. (Coord.) *Manual de Preservação de Madeiras*. Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo. São Paulo, 1989.

LIMA, G. L. Construção habitacional em Campos de Jordão utilizando madeira de reflorestamento (Relatório do IPT: 1ª e 2ª partes), in: *Revista Construção*, p.15-18, abr./maio 1984.

LÓPEZ, O. H. *Nuevas Técnicas de Construcción com Bambu*. Colômbia: Centro de Investigacion del Bambu, 1978.

LORENZI, H. *Árvores Brasileiras*. Editora Plantarum, 1998.

_____. *Árvores Exóticas do Brasil*. Editora Plantarum, 2003.

LYALL, S. *Maestros de la Estructura: La ingeniería em las edificaciones innovadoras*. Barcelona: Editora Blume, 2002.

MALMANGER, N. *Boletim de Informacion Técnica*. Espanha: Associação de Investigação Técnica das Industrias de Madeira, n.235, maio/jun. 2005.

MARTI-AGUILAR, L. Depoimento de Leopold Marti- Aguiar à *Revista Construção*, n.2656, p.14, janeiro 4/1999.

MARTINEZ, A. C. *Ensaio sobre o Projeto*. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 2000.

MELO, J. E. *Estruturas de Madeira*. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, DIREM, IBAMA, 2001.

MORETTI, R. S. de Habitação popular e sustentabilidade. In: *Téchne (IPT)*. São Paulo, ed. 95, p.44-47, fev. 2005.

MOURA, E. Da tradição à alta tecnologia, in: *Revista AU*, São Paulo SP, p.30-39, n. 41, abr./maio 1992.

NBR 10.520 – Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação.

NBR 14.724 – Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação, ago 2002.

NBR 6023 – Informação e documentação – Referências – Elaboração, ago. 2002.

NBR 6024 – Informação e documentação – Numeração progressiva das seções de um documento escrito – Apresentação, maio 2003.

NBR 6027 – Informação e documentação – Sumário – Apresentação, maio 2003.

NBR 6028 – Informação e documentação – Resumo – Apresentação, nov. 2003.

PAULA, J. E. de; ALVES, J. L. H. *Madeiras Nativas* – anatomia, dendrologia, dendrometria, produção e uso. Brasília: Empresa Gráfica Gutenberg Ltda, 1997.

PFEIL W. *Estruturas de Madeira*. Rio de Janeiro: Livro Técnicos e Científicos Editora SA, 1994.

PINTO, E. M. Taxa de carbonização da madeira x Resistência ao fogo. In: *Téchne (PINE/IPT)*, São Paulo, n. 92, p. 58-61, nov. 2005.

PLANO DE DESENVOLVIMENTO FÍSICO DA UnB, Brasília DF: Editora Centro Gráfico do Senado Federal.

PLANO ORIENTADOR DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília DF: Editora Universidade de Brasília, 1962.

QUEIROZ, L. R. de Madeira tratada dura vários anos, in: *O Estado de São Paulo*, p. g14/g15, quarta-feira, 27 de setembro de 1995.

SAIA, L. Exposição Madeira & Civilização. In: *Acrópole*, Rio de Janeiro, n. 379, p. 13-39, nov. 1970.

SIMON, H. A. *A Ciência do Projeto – Criando o Artificial*. Trad. L. M. Pereira. Coimbra: Armênio Amado, 1981.

SUELEM, I. Um urbanismo tropical para a Amazônia. In: *GJ – Arquitetura Planejamento e Construção*, São Paulo, n. 20, jan. 1972.

UEAtc – Union Européenne pour l'Ágrément Technique dans la Construction, Paris.
Directivas complementares para a homologação de casas leves de madeira. Ministério de Obras Públicas. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil 1972.