

SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA CERTIFICADA – EXPERIÊNCIAS DESENVOLVIDAS: UMA ABORDAGEM SOBRE PROJETO DE INTERFACES E PROCESSO DE RACIONALIZAÇÃO DE COMPONENTES

João Marcelo Danza Gandini, Me. em Arquitetura e Urbanismo (USP);

Tomaz Queiroz Ferreira Barata, Dr. Eng. Civil (UNESP);

Javier Mazariegos Pablos, Dr. em Arquitetura e Urbanismo (USP).

PALAVRAS CHAVE

Madeira certificada; Pré-fabricação; Componentes estruturais; Sistemas construtivos

KEY WORDS

Certified wood; Prefabrication; Structural components; Building systems

RESUMO

As florestas naturais e plantadas desempenham importantes funções sociais, econômicas e ambientais; oferecem uma variedade de produtos florestais madeireiros e não madeireiros, e prestam serviços ambientais essenciais, como a conservação dos recursos hídricos, conservação da biodiversidade e estabilidade climática. Atualmente, verifica-se uma tendência no aumento de oferta de madeira certificada visto que o número de certificados apresentou um crescimento considerável na última década, o que pode viabilizar o emprego da madeira proveniente de áreas de manejo florestal certificado em projetos de sistemas construtivos pré-fabricados. O trabalho tem como objetivo apresentar três edificações onde foram utilizados sistemas construtivos pré-fabricados que empregam a madeira certificada em seus componentes estruturais. A metodologia utilizada visou relacionar as diretrizes que balizaram o desenvolvimento dos projetos arquitetônicos e dos sistemas construtivos estruturais; apresentar o projeto das interfaces entre os componentes estruturais e, por fim, analisar os componentes pilar e viga das edificações. Como resultados são apresentadas interfaces entre os componentes estruturais pilar-fundação e pilar-viga, e um quadro comparativo entre os componentes pilar e viga das edificações apresentadas.

ABSTRACT

The natural and planted forests have important social, economic and environmental functions, offer a variety of timber and non-timber forest products, and provide essential environmental services such as water conservation, biodiversity conservation and climatic stability. Currently, there is a trend in the increase of supply timber certified since the number of certificates presented a considerable growth in the last decade. This may enable the use of wood from certified forest management areas in prefabricated design building systems. The work aims to present three buildings where construction prefabricated systems were used to employ certified wood in its structural components. The methodology aimed to relate the guidelines that guided the development of architectural designs and construction structural systems, presents the design of interfaces between the structural components and, finally, analyze the pillar and beam parts of buildings. Results are presented as interfaces between the pillar-foundation structural components and pillar-beam, and a table comparing the pillar and beam components of the presented buildings.

4. INTRODUÇÃO

No Brasil verifica-se uma situação florestal favorável no que se refere à alta capacidade de produção de madeira proveniente de atividades silviculturais e de manejo florestal certificado. O elevado potencial de emprego da madeira como material de construção, somado ao conhecimento técnico e científico e à qualificação dos profissionais do setor da construção civil e da cadeia produtiva da madeira, pode favorecer o desenvolvimento e a produção de forma sustentável de edificações em madeira, em particular de componentes estruturais pré-fabricados.

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2010), as florestas do país ocupam aproximadamente 61% do território brasileiro e desempenham importantes funções sociais, econômicas e ambientais; ofertam uma variedade de bens, como produtos florestais madeireiros e não madeireiros, e prestam serviços ambientais essenciais, como a conservação dos recursos hídricos, a conservação da biodiversidade e a estabilidade climática. Em 2008, os dados estatísticos nacionais indicavam que a área florestal total do país era de 516 milhões de hectares, sendo que a produção de madeira serrada em 2008 correspondeu a 42,2 milhões de m³.

Atualmente, verifica-se uma tendência no aumento de oferta de madeira serrada certificada visto que o número de certificados apresentou um crescimento considerável na última década. Segundo dados do IMAFLORA/SmartWood, no ano de 2009 foram totalizados 107 empreendimentos certificados com verificação de práticas socioambientais, correspondendo uma área total de 2,88 milhões de hectares. No país, 14 estados possuem empreendimentos certificados em quatro biomas distintos, que são: Mata Atlântica, Amazônia, Caatinga e Cerrado. Os dados apresentados indicam a viabilidade de aplicação da madeira serrada proveniente de áreas de manejo florestal certificado na produção, em escala industrial, de sistemas construtivos pré-fabricados.

2. APLICAÇÃO DE MADEIRA CERTIFICADA EM SISTEMAS CONSTRUTIVOS NO BRASIL: EXPERIÊNCIAS DESENVOLVIDAS

Neste item são abordados os aspectos referentes à tipologia da construção; as características dos sistemas construtivos; componentes estruturais; o processo de pré-fabricação e processo de montagem em canteiro de três edificações com sistemas construtivos distintos, sendo: Projeto IMAFLORA I; Projeto IMAFLORA II e; Edificação Unifamiliar na cidade de Sosas – SP. Todos os sistemas

construtivos estruturais foram pré-fabricados em unidades de beneficiamento e empregaram, nos componentes estruturais, madeira nativa proveniente de áreas de manejo florestal certificadas. Quanto ao processo produtivo, tais edificações podem ser classificadas como sistemas construtivos racionalizados, visto que as atividades em canteiro de obra são exclusivamente de encaixe e montagem dos componentes.

2.1 IMAFLORA I

2.1.1. Concepção do projeto arquitetônico

O projeto foi idealizado para abrigar a sede do Instituto de Manejo Florestal e Agrícola (IMAFLORA), dotado de 1 pavimento com pé-direito duplo e 1 mezanino, a edificação possui salas de escritório, reuniões, áreas administrativas e sanitários. Possui uma área total de 330,00m² e foi concebida para utilização do sistema pré-fabricado tipo pilar-viga em madeira nativa provenientes de áreas certificadas, dentre elas Jatobá, Maçaranduba, Itaúba e Garapeira. A edificação é elevada do solo, o que permitiu que não houvesse necessidade de movimentação de terra, preservando portanto, o perfil original do terreno.

A Figura 1 apresenta as etapas de montagem da estrutura, vedação e acabamento da obra.

Figura 1: IMAFLORA I - Montagem da estrutura, vedação e acabamento



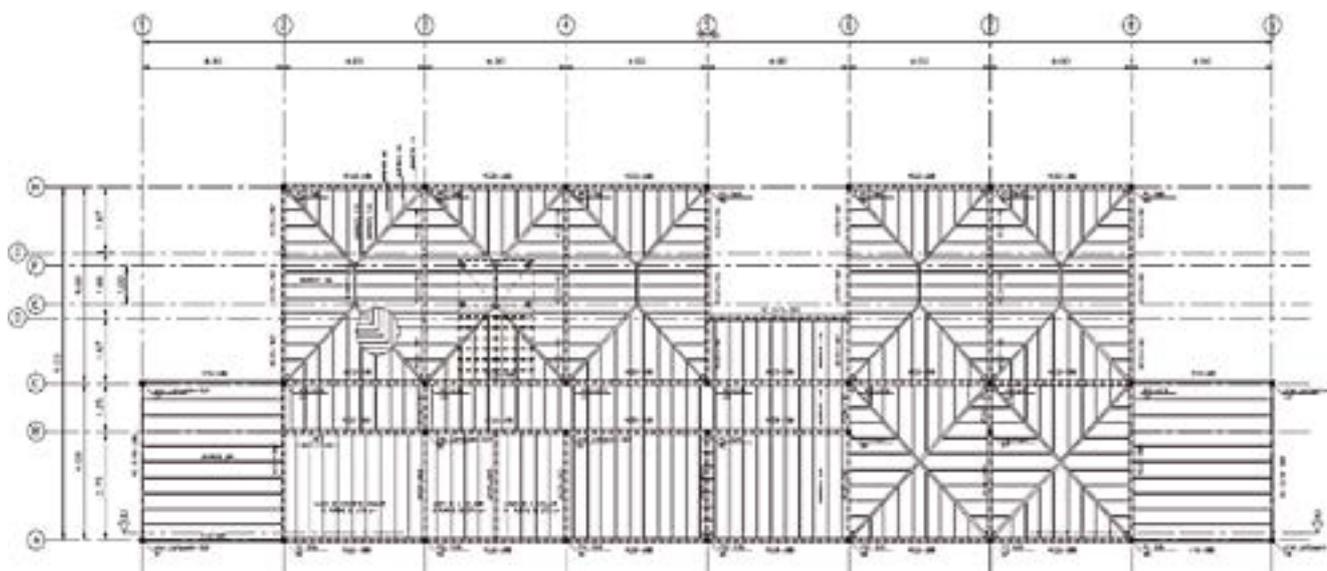
Fonte: Autores

2.1.2 Concepção do projeto estrutural

O sistema construtivo adota uma concepção estrutural pilar-viga, a partir de módulos estruturais principais de 4x4m e 4x5m entre eixos, o que permitiu a utilização de um módulo de painel de vedação de 1m. Foram utilizados pilares maciços com seção de 12x12cm e vigas compostas, tipo perfil I, com alturas de 22 e 26cm.

A Figura 2 apresenta a planta do barroteamento de piso com as cotas dos eixos modulares do projeto.

Figura 2: IMAFLORA I - Planta de barroteamento de piso



2.2. IMAFLORA II

2.2.1. Concepção do projeto arquitetônico

O projeto, dotado de 1 (um) pavimento, possui uma área total de 191,25 m². A partir da concepção modular adotada no partido arquitetônico foi elaborado o projeto executivo estrutural. O sistema construtivo estrutural pré-fabricado desenvolvido para a edificação empregou em sua totalidade madeira nativa proveniente de áreas de manejo florestal certificadas.

2.1.3. Concepção do projeto estrutural

O sistema construtivo estrutural pré-fabricado desenvolvido para a edificação IMAFLORA I empregou em sua totalidade madeira nativa proveniente de áreas de manejo florestal certificadas. Os componentes estruturais apresentados são os pilares maciços com seção de 12x12cm e as vigas compostas, tipo perfil I, com alturas de 22 e 36cm definidas em cálculo estrutural.

A interface pilar-fundação foi executada utilizando-se um conector metálico aparafusado em uma barra de rosca deixada como espera após a concretagem dos pilaretes de concreto. Sua fixação ao pilar se deu através da passagem de duas barras de rosca, com o posterior travamento através de porcas e arruelas.

As interfaces entre pilares e vigas compostas foram executadas da mesma forma, com a utilização de conectores metálicos, projetados individualmente dependendo da quantidade de vigas que chegavam aos pilares.

Fonte: Autores

Em relação aos demais materiais de construção empregados na edificação, destacam-se os tijolos de solo-cimento intertravados como elementos de vedação vertical, que também contribuem para o contraventamento do conjunto de pilares, as esquadrias e pisos de madeira nativa certificada e o piso cerâmico nas áreas úmidas, assentado sobre laje suspensa por barrotes de madeira.

A utilização do tijolo de solo-cimento contribuiu para a redução da extração de argila e poluição devido à queima do material e possibilitou a passagem das instalações elétricas no interior dos furos dos tijolos, bem como entre as vigas duplas da estrutura de piso.

Figura 3: IMAFLORA I – Interfaces pilar-fundação e pilar-viga composta



Fonte : Autores

A Figura 4 apresenta as etapas de estrutura, vedação e acabamento da obra.

Figura 4: IMAFLORA II - Montagem da estrutura, vedação e acabamento



Fonte : Autores

2.2.2. Concepção do projeto estrutural

O sistema construtivo adota uma concepção estrutural pilar-viga, a partir de módulos estruturais de 2x4m e 4x4m entre eixos, formados por componentes simples (vigas duplas e barrotes) e componentes compostos (pilares e treliça de cobertura) de madeira serrada maciça e chapas de compensado.

Foram adotados pilares compostos que foram montados a partir de duas peças brutas de 6x16cm e uma peça interna de 6x12cm, formando uma seção final de 15,5x15,5cm. A adoção deste sistema visa tanto uma redução no custo do componente quanto promover um menor impacto ambiental na retirada de peças de grande seção, uma vez que as peças nas seções indicadas são facilmente encontradas no mercado.

Este componente apresenta ainda, nas faces laterais rebaixos com 4,5cm de largura e 0,5cm de profundidade para encaixe da peça de interface pilar/vedação. Esta solução visou resolver o aparecimento de eventuais frestas entre o componente pilar e o elemento de vedação.

As vigas duplas são compostas por 2 peças com seções de 5,5x23cm e 5,5x28cm.

A Figura 5 a planta do barroteamento de piso com as cotas dos eixos modulares e indicação de componentes, e indicação de detalhes construtivos, compatibilizados na fase de projeto.

A Figura 6 apresenta o corte BB com a especificação dos componentes estruturais, tais como, pilares compostos, vigas duplas, barrotes (nível 0,00m), estrutura de piso, vigamento superior (nível 2,87m) e a estrutura de cobertura com a indicação da treliça composta, terças, caibros e ripas. Também são identificadas as interfaces entre os pilares de madeira e os pilaretes fixados às sapatas isoladas da fundação, ambos em concreto armado. É facilmente notado que a escolha do tipo de fundação está diretamente ligada a um baixo custo ambiental, tanto na redução do uso de materiais como o cimento e aço quanto no uso da água. Outros fatores que merecem destaque são: o fato da edificação estar elevada em relação ao

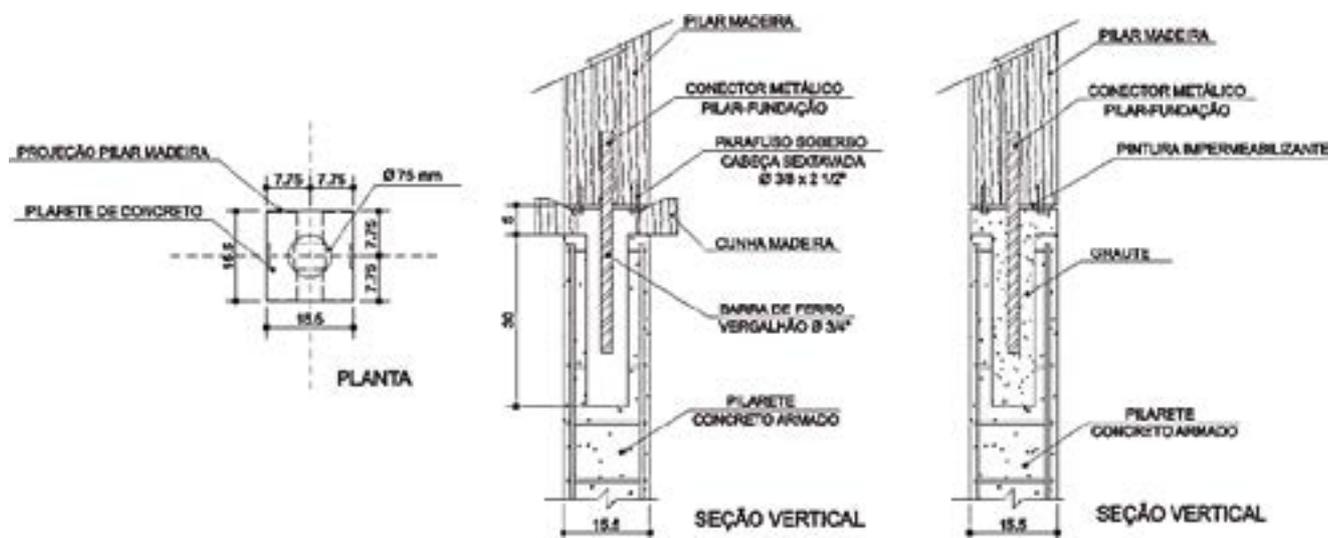
2.2.3. Interfaces entre componentes estruturais pré-fabricados

• Interface pilar-fundação

Os pilares são fixados a blocos de fundação através de conectores metálicos. A fim de aumentar a estabilidade lateral desta conexão foram utilizadas peças de aço de 10mmx2', posicionadas uma em cada face dos pilares, nos devidos rebaiços e inseridas no bloco de fundação.

A fundação da edificação foi executada com a concretagem de sapatas e pilaretes de concreto com seção 15x15cm dotados de um orifício central de diâmetro de 75mm e profundidade de 30cm para possibilitar a inserção de um conector metálico inserido na base do pilar composto, como pode ser verificado no projeto da interface apresentado na Figura 7.

Figura 7: IMAFLORA II – Interface pilar composto-fundação



Fonte : Autores

• Interface pilar-viga

A interface entre os componentes pilar/viga-dupla foi executada com auxílio de conectores metálicos galvanizados a fogo, sendo empregados parafusos passantes e parafusos tipo soberbo, dependendo da situação de cada ligação. A Fig. 8 apresenta o projeto da interface entre o pilar composto e três vigas duplas.

A Figura 9 apresenta as interfaces pilar-fundação e pilar-viga executadas em obra, onde nota-se na interface pilar-fundação um espaço existente entre o topo do pilarete de concreto e base do conector metálico onde o pilar está apoiado, posteriormente preenchido com graute. Já na interface pilar-viga nota-se o conector metálico utilizado, uma usinagem da face lateral do pilar, necessária para o encaixe do conector metálico, gerando como resíduo uma pequena quantidade de ser-

ragem, bem como a interface entre pilar-3 vigas duplas devidamente montada.

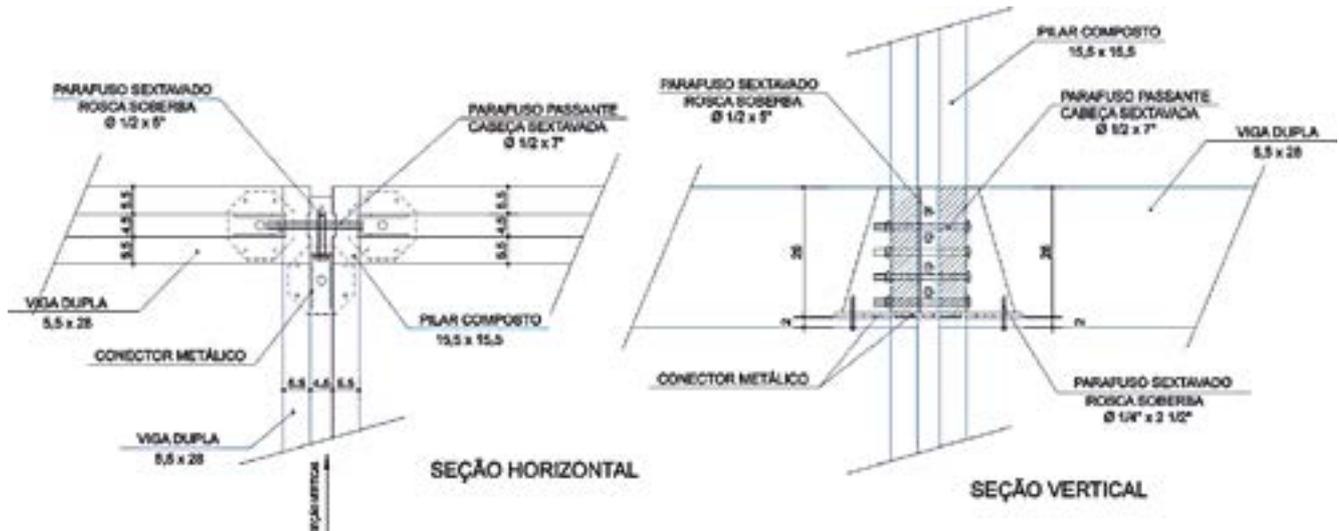
2.3. RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR – SOUSAS-SP

2.3.1. Concepção do projeto arquitetônico

A edificação possui uma área de 445,00m² distribuídos em 3 níveis. O partido arquitetônico adotado desde os primeiros estudos preliminares priorizou um resultado formal que refletisse a concepção da estrutura. O arranjo estrutural do projeto partiu de uma forma cúbica com um pilar central, para garantir maior estabilidade e permitira

liberação do envoltório para o posicionamento das aberturas e varandas. Desde a fase de estudo preliminar a forma cúbica possuía uma base de 10m x 10m formando, em planta, quatro módulos de 5m x 5m. Em um destes módulos foi projetado um vão interno e nos outros três módulos foi distribuído o programa de necessidades. Ao longo da evolução do projeto esta base foi ganhando novos elementos, como por exemplo, a escada destacada da estrutura principal.

Figura 8: IMAFLORA II - Detalhe interface pilar composto – 3 vigas duplas



Fonte : Autores

Figura 9: IMAFLORA II – Interfaces pilar-fundação e pilar-viga executadas em obra



Fonte : Autores

2.3.2. Concepção estrutural do projeto

No sistema construtivo estrutural pré-fabricado desenvolvido para a construção desta edificação foram empregadas madeiras nativas das espécies de nome comercial angico-preto (*Anadenanthera macrocarpa*) e garapeira (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr). Foi adotada uma concepção estrutural pilar-viga, constituído por componentes simples (pilares, vigas simples, vigas duplas e barrote) e componentes compostos (treliças de cobertura) de madeira maciça serrada.

Foram utilizados pilares maciços com seções 17x17cm, 20x20cm, 22x22cm e 27x27cm, vigas simples 10x30 cm e 12x22 cm e vigas duplas 5,5x15 cm.

Na Figura 10 são apresentadas as imagens do entramado formado pelos componentes estruturais em madeira maciça.

2.3.3 Interface entre componentes estruturais pré-fabricados

As ligações entre os componentes pilar-fundação e pilar-viga são executadas com auxílio de conectores metálicos galvanizados a fogo, e uso de parafusos passantes e parafusos tipo soberbo, dependendo da situação de cada ligação. A inserção do conector diminui a necessidade de complexas usinagens e encaixes nas peças de madeira.

• Interface pilar-fundação

Os pilares foram fixados aos blocos de fundação através de conectores metálicos. A fim de aumentar a estabilidade lateral desta conexão foram utilizadas peças de aço de 10mmx2', posicionadas uma em cada face dos pilares, nos devidos rebaiços e inseridas no bloco de fundação. A Figura 11 apresenta o detalhe do pilar maciço, a interface pilar-fundação e as imagens tridimensionais da interface.

• Interface pilar-viga simples

As vigas simples são peças aparelhadas e pré-cortadas no comprimento definido no projeto de produção e têm seção 10x30cm e 12x22cm. Estas peças possuem uma usinagem na sua face inferior, próxima aos pilares, para encaixe dos conectores metálicos pilar-viga. A Figura 12 mostra o detalhe da interface entre as vigas simples e os pilares bem como as imagens tridimensionais da referida interface.

• Interface pilar-viga dupla

As vigas duplas são peças aparelhadas e pré-cortadas na seção e no comprimento definido no projeto de produção. Estas peças não possuem qualquer tipo de usinagem e/ou rebaiço, o que confere maior agilidade na produção das peças.

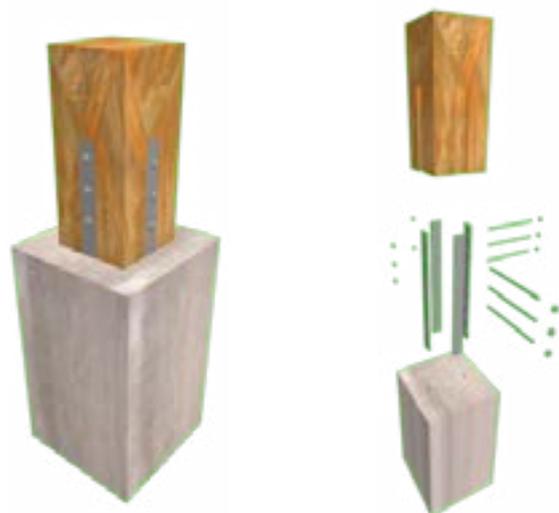
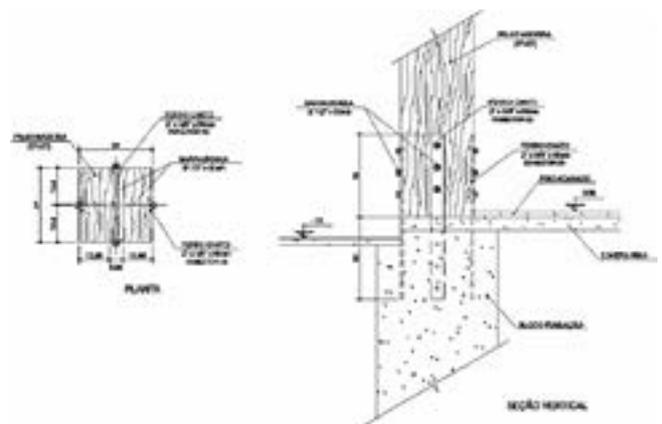
A fixação nos pilares é feita através de conectores metálicos em forma de "U", posicionados no interior das mesmas, o que não os deixa aparentes. A Fig. 13 apresenta o projeto da interface entre os pilares e as vigas duplas bem como as imagens tridimensionais da referida interface.

Figura 10: Edificação Sousas - Maquete tridimensional da estrutura da edificação



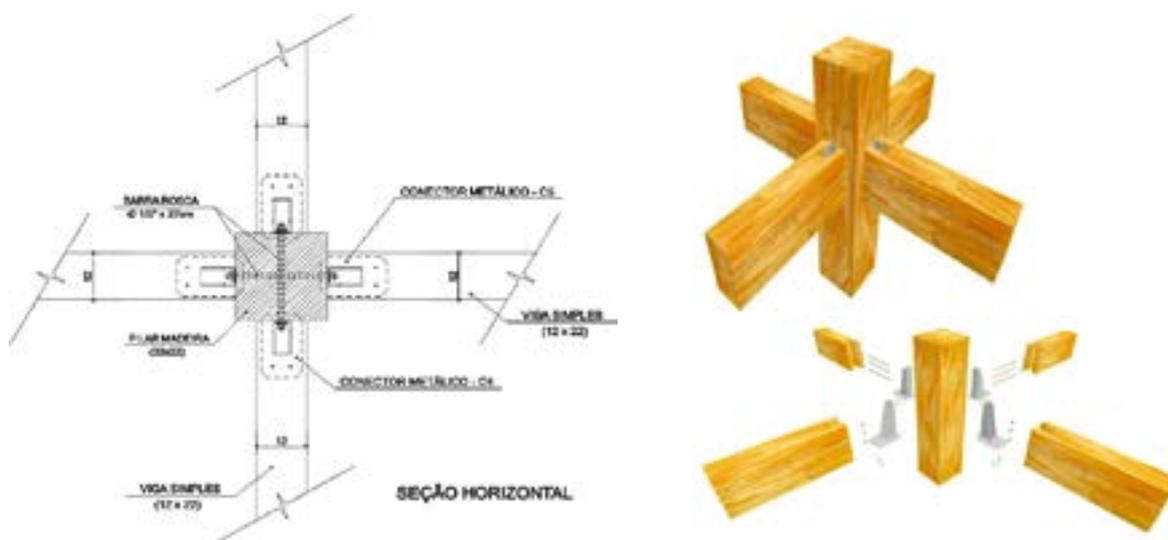
Fonte : Autores

Figura 11: Edificação Sousas – Projeto e modelo tridimensional da interface pilar-fundação



Fonte : Autores

Figura 12: Edificação Sosas - Projeto e imagens tridimensionais da interface pilar-viga simples



Fonte : Autores

Figura 13: Edificação Sosas - Projeto e imagens tridimensionais da interface pilar-viga dupla



Fonte : Autores

QUADROS COMPARATIVO

A Tabela 1 e Tabela 2 apresentam, para os componentes pilar e viga respectivamente, uma comparação entre área, tipo de componente utilizado e suas seções, comprimento, peso e volume dos componentes. Apresenta também dados comparativos no que diz respeito à possibilidade de substituição do componente, se o mesmo encontra-se em contato com o solo, aproveitamento da tora e, facilidade de produção, pré-furação e transporte, bem como a(s) espécie(s) de madeira utilizada(s).

Em relação aos pilares, pode-se dizer que de forma geral, que na edificação do IMAFLORA II, foi obtido um melhor aproveitamento da madeira no que diz respeito ao comprimento e peso médios do componente, bem como em relação aos volumes líquido e médio do componente, tanto metro cúbico por metro linear do componente quanto por metro quadrado de obra. Contudo, os índices das edificação IMAFLORA I não possui uma grande diferença em relação à edificação do IMA-

FLORA II, fato que evidencia a eficiência dos sistemas construtivos adotados em relação ao componente pilar. Em relação à edificação de Sosas, os índices sofrem uma maior alteração devido ao padrão da edificação e do partido arquitetônico adotado, que exigiu a utilização de peças com seções maiores.

A classificação entre baixo, médio e alto referente a tais características leva em consideração o peso do componente e consequentemente a necessidade de equipamentos pesados para transporte e posicionamento em obra; facilidade de manuseio; quantidade e dificuldade na realização de usinagens e fixação de conectores metálicos.

Em relação às vigas, percebe-se uma proximidade no comprimento e peso médio das peças utilizadas, tendo como destaque o volume líquido e volume de componente por metro quadrado de obra utilizados na edificação IMAFLORA I e o volume médio por metro de componente para o IMAFLORA II.

A classificação entre baixo, médio e alto leva em consideração basicamente as mesmas características adotadas para os pilares.

As variações apresentadas apontam, novamente, para uma eficiência dos sistemas construtivos adotados na construção das edificações apresentadas.

Tabela 1: Comparação do componente pilar entre as obras apresentadas

PILARES			
	Imaflora I	Imaflora II	Residência Souza
Área da edificação (m ²)	330	191,25	445
Tipo de componente	Pilar composto	Pilar composto	Pilar m
Seções (cm)	12x12	15,5x15,5	17x17 / 20x20 / 22x22 / 27x27
Quantidade total de peças	39	28	45
Comprimento total (m)	200,35	91,67	181,8
Comprimento médio do componente (m)	4,74	2,98	3,99
Peso médio/m do componente (kg/m)	15,47	9,16	42,42
Peso médio do componente (kg)	73,33	27,30	169,24
Volume líquido (m ³)	2,89	2,20	8,82
Volume médio/m de componente (m ³ /m)	0,014	0,024	0,049
Volume componente/m ² de obra (m ³ /m ²)	0,009	0,012	0,020
Possibilidade de substituição de componentes	BAIXA	MÉDIA	BAIXA
Componente em contato com o solo	NÃO	NÃO	SIM
Aproveitamento da tora	MÉDIO	ALTO	BAIXO
Facilidade de produção	MÉDIA	ALTA	MÉDIA
Facilidade de pré-furação	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
Facilidade de transporte	MÉDIA	ALTA	BAIXA
Espécie de madeira	Jatobá, Maçaranduba, Itaúba e Garapeira	Tamarindus indica	Garapeira e Angico-preto

Fonte : Autores

Tabela 2: Comparação do componente viga entre as obras apresentadas

VIGAS			
	Imaflora I	Imaflora II	Residência Souza
Área da edificação (m ²)	330	191,25	445
Tipo de componente	Viga composta	Viga dupla	Viga simpl
Seções (cm)	10x22 / 10x26	5,5x23 / 5,5x28	10x30 / 12x22 / 20x20
Quantidade total de peças	27	134	89
Comprimento total (m)	142,2	421,78	281,59
Comprimento médio do componente (m)	3,26	3,06	2,89
Peso médio/m do componente (kg/m)	19,66	15,07	28,66
Peso médio do componente (kg)	64,16	46,10	82,84
Volume líquido (m ³)	3,32	6,09	7,93
Volume médio/m de componente (m ³ /m)	0,023	0,014	0,028
Volume componente/m ² de obra (m ³ /m ²)	0,010	0,032	0,018
Possibilidade de substituição de componentes	BAIXA	ALTA	BAIXA
Componente em contato com o solo	Não	Não	Não
Aproveitamento da tora	MÉDIO	MÉDIO	BAIXO
Facilidade de produção	BAIXA	MÉDIA	MÉDIA
Facilidade de pré-furação	ALTA	MÉDIA	MÉDIA
Facilidade de transporte	BAIXA	ALTA	MÉDIA
Espécie de madeira	Jatobá, Maçaranduba, Itaúba e Garapeira	Tamarindus indica	Garapeira e Angico-preto

Fonte : Autores

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante ressaltar que o Brasil, mesmo possuindo uma alta capacidade de produção de madeira, ainda é incipiente o seu emprego na construção civil, de forma racional e sustentável. O aperfeiçoamento de sistemas construtivos mistos, com estrutura de madeira e fechamento em alvenaria pode viabilizar o uso da madeira como principal material de construção, principalmente se considerarmos os seguintes aspectos: a) maior controle de qualidade e eficiência no processo produtivo de componentes estruturais em madeira em unidades de pré-fabricação; b) racionalidade e rapidez no processo de montagem em canteiro de obra e; c) maior possibilidade de redução de desperdícios com adoção de conceitos de coordenação modular no projeto com o emprego de fechamentos em alvenaria.

Além dos fatores citados acima, os sistemas construtivos que se utilizam da madeira para fins estruturais contam com uma sensível agilidade no cronograma, diminuindo o tempo gasto na execução da obra, garantindo a redução de custos diretos e indiretos, bem como a valorização estética da obra, visto que os sistemas construtivos convencionais, especificamente aqueles que adotam componentes estruturais em concreto armado, pressupõem etapas de preparação de formas, armações, escoramentos e concretagens, além do tempo de espera de cura e desforma do concreto.

O sistema construtivo estrutural apresentado neste trabalho dispensa a necessidade de uma mão-de-obra com elevado nível de especialização, devido a uma praticidade do processo de montagem, uma vez que, na maioria das vezes, as peças estruturais são colocadas na obra devidamente numeradas e com os conectores metálicos fixados nas peças de madeira, propiciando uma agilidade ainda maior no processo de montagem em canteiro de obra.

Faz-se de extrema importância ressaltar que, além das observações acima, sistemas construtivos em madeira possuem um processo produtivo que pode ser classificado como um sistema construtivo racionalizado, visto que as atividades em canteiro de obra são exclusivamente de encaixe e montagem dos componentes, o que diminui o tempo de obra, evita desperdícios e conseqüentemente a geração de resíduos.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT, NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, 1997, 107 p.
2. BARATA, T. Q. F.; GANDINI, J.M.D. **Sistema Construtivo em Madeira Certificada para a Ampliação da Sede do IMAFLORA** – Piracicaba, SP, In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10.,2008, Londrina. Anais...Londrina, 2008.
3. BITTENCOURT, R.M. **Concepção arquitetônica da habitação em madeira**, 1995. 247p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995(a).
4. SFB - Serviço Florestal Brasileiro. Florestas do Brasil em resumo - 2010: dados de 2005 -2010. Serviço Florestal Brasileiro. – Brasília: SFB, 2010. 152 p.