

# Sistema Estrutural e Construtivo do MÓDULO (M) em Madeira como Instrumento de Aproximação Social na Promoção da Cidadania de Crianças e Jovens Socialmente Vulneráveis

MODULE (M) Structural and Constructive Systems in Timber as a Tool of Social Approach in Promoting Citizenship of Children and Socially Vulnerable Youngsters

## RESUMO

O artigo trata sobre a apresentação de sistema estrutural e construtivo em madeira perfilada roliça de reflorestamento, denominado *MÓDULO (M)*, cuja aplicação como artefato arquitetônico visa promover a cidadania e garantir os direitos de crianças e jovens socialmente vulneráveis de comunidades carentes no entorno das cidades de pequeno, médio e grande porte. Historicamente, no Brasil, a madeira tem uso não compatível com a sua relevância na construção civil, notadamente em elementos estruturais. Este trabalho procura um modo não convencional em pensar estruturas, por meio de uma nova abordagem arquitetônica conceitual, que possibilite configurações espaciais das mais diversas, permeadas com preocupações estéticas. Um exemplo desta abordagem é o *MÓDULO (M)* que reforça a ideia da aplicação da madeira de reflorestamento em estruturas, concebendo espaços arquitetônicos agradáveis e confortáveis e com preocupações ecológicas, causando mínimo impacto ao meio ambiente. O objetivo deste trabalho é apresentar uma estrutura demonstrativa em madeira de reflorestamento que atende a programas funcionais de interesse social, privilegiando prioritariamente às necessidades programáticas de comunidades sobrevivendo em favelas (normalmente situadas nas periferias das cidades), de crianças e jovens socialmente vulneráveis. Este sistema é projetado para ser implantado em solos de diferentes declividades e de difícil acesso.

**Palavras-chave:** Módulo. Sistemas Estrutural e Construtivo. Madeira de Reflorestamento.

## ABSTRACT

This article presenting a timber structural and constructive system of round profiled from reforestation log wood, named *MODULE (M)*, whose application as architectural artifact aims to promote citizenship and guarantee the rights of socially vulnerable children and youth from poor communities in the small, medium and large surrounding towns.

FRANCISCO ANTONIO  
ROCCO LAHR, CARLITO  
CALIL JR. E DECIO  
GONÇALVES

Universidade de São Paulo.  
Escola de Engenharia de São  
Carlos, São Paulo, Brasil

ANDRÉ LUIS  
CHRISTOFORO

Universidade Federal de São  
João del-Rei, Minas Gerais,  
Brasil

Historically, in Brazil, the timber use is not compatible with its relevance in construction, especially in structural elements. This paper seeks a way to think in unconventional structures through a new conceptual architectural approach that enables spatial configurations of the most diverse, permeated with aesthetic concerns. An example of this approach is the *MODULE (M)* which reinforces the idea of applying reforested log wood in structures, designing architectural spaces pleasant and comfortable, with ecological issues, causing minimal impact to its environment. The objective of this paper is to present a timber demonstrative structure that meets social interest case studies, prioritizing programmatic needs of a community socially vulnerable of children and young people, usually located on the outskirts of cities, surviving in housing type slums. This system is designed to be implanted in soils with different declivities and hard access.

**Keywords:** Module. Structural and Constructive Systems. Reforested Log Wood.

## INTRODUÇÃO

A realidade ocupacional urbana no Brasil, no que se refere às *Habitações de Interesse Social (HIS)*, reflete a tendência acentuada de localizar-se no entorno das grandes cidades, em terrenos considerados difíceis (região de morros). Sua característica predominante é a de alojar população de menor poder aquisitivo e carente de informações para reivindicar seus próprios direitos. Histórica e culturalmente, resta a esta população os piores terrenos, devido aos seus poucos recursos financeiros para construção de moradias ou, como na maioria das vezes, são áreas fruto de invasões.

Ainda que a criação do *Estatuto da Cidade* no Brasil, em 2001, tenha dado um alento à questão, constata-se que a maior parte dos empreendimentos para HIS carece de mínimas qualidades projetuais aceitáveis, nos seus mais variados aspectos, o que evitaria problemas como: interferência inadequada no ambiente, flexibilidade e personalização projetual inexistentes, falta de sintonia com os anseios e necessidades dos usuários.

Essas edificações são constituídas basicamente por três tipos de habitações: 1) simples barracos em favelas alocados nas encostas, em áreas invadidas e sujeitas à desocupação judicial; 2) casas humildes desprovidas de um mínimo conforto, executadas pelo processo de autoconstrução, nos loteamentos ditos populares; 3) habitações uni ou multifamiliares construídas através de programas habitacionais com a participação do Estado. Via de regra, neste último tipo, os projetos arquitetônicos pensados para implantações em terraplanos são reutilizados *ipse literis* em terrenos ditos difíceis, acarretando desastres de grandes proporções ocasionando prejuízos financeiros, além de irreparáveis perdas humanas (Figura 1).



Figura 1 – Desastre em encosta –  
Fonte: [6].

Nesse contexto, seria redundante relatar o número crescente e alarmante de acidentes gerados a partir desse procedimento, causando, entre outros: 1) desastres nas encostas; 2) presença de solos erodidos, resultando assoreamento de fundos de vales e várzeas, o que cria condições favoráveis de inundações nas baixadas.

Ao longo dos anos tem sido desafiador para projetistas, e particularmente arquitetos e engenheiros, pensarem sistemas estruturais e construtivos em madeira, quiçá em madeira roliça de reflorestamento, com qualidade projetual que atendam às necessidades de se implantar artefatos arquitetônicos em terrenos íngremes de topografia acentuada e de difícil acesso.

No Brasil, como exemplo, têm relevância duas obras elitistas em madeira serrada: a primeira, a *Residência Aflalo*, no Jardim Vitória Régia, na capital de São Paulo, fruto da parceria do casal de arquitetos Marta e Marcelo Aflalo (Figura 2a e 2b); e a segunda, a *Residência Ricardo Baeta*, no litoral de São Paulo, na cidade de Guarujá, com projeto do arquiteto Marcos Acayaba e cálculo estrutural do Engenheiro Hélio Olga Jr (Figura 3c).

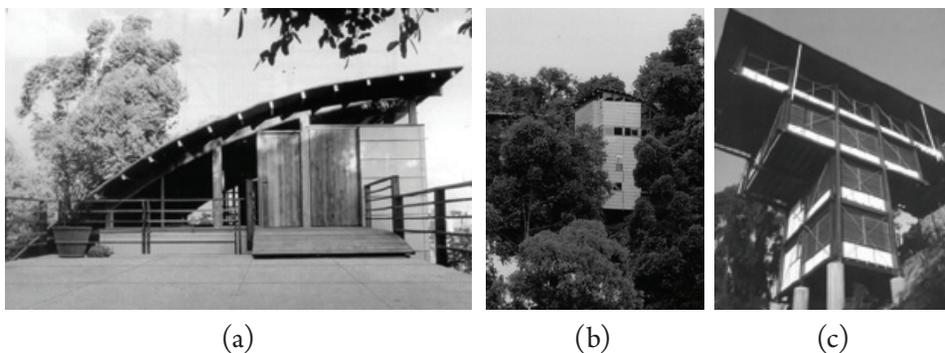


Figura 2 – Obra Residência Aflalo (a) e (b); Residência Hélio Olga Jr (c).

O *leitmotiv* da obra do casal Aflalo foi demonstrar que, apesar de o Brasil ser dotado de uma das maiores reservas de matas naturais do planeta, bem como de consideráveis extensões de reflorestamento com espécies exóticas, existe uma manifestada resistência a adotarem-se sistemas estruturais em madeira, utilizando particularmente espécies exóticas.

De uma forma geral, esse “preconceito”, não só em relação às espécies exóticas, mas também em relação às nativas, foi sendo arraigado firmemente, mas nem sempre em razões bem expressas, escondendo-se, via de regra, outros interesses. Em geral, tal

resistência fundamenta-se no mito de que a madeira se tornou sinônimo de algo antiquado, anacrônico, frágil, não resistente ao fogo, desprovido de recursos tecnológicos de ponta e, o pior, caro.

Esse posicionamento contra a construção em madeira tem sua origem cultural e, de forma sintomática, advém do desconhecimento de sua tecnologia, por meio de asserções como: madeira “apodrece”, “pega fogo”, é “fraca”, “entorta”, “racha e entorta”, e tantas outras “preciosidades” que proliferam em virtude do acúmulo de imagens negativas existentes no Brasil.

As florestas, das quais a madeira se origina, sequestram o gás carbônico durante o dia, por meio da reação de fotossíntese. O oxigênio também é devolvido para a atmosfera durante o dia, como decorrência da fotossíntese, minimizando as consequências danosas ao meio ambiente do efeito estufa (aquecimento da temperatura da crosta da Terra com o passar do tempo devido, prioritariamente, às atividades humanas desordenadas).

Este artigo objetiva, em primeiro lugar, chamar à atenção para a relevância do uso da madeira perfilada roliça como elemento predominante em sistemas estruturais e construtivos. No Brasil, ainda nos dias atuais, a madeira não é considerada uma possibilidade consistente quando se pensa em estruturas, sendo priorizados usualmente outros materiais convencionais como o concreto armado, o aço, entre outros. O Brasil caminha na contramão da tendência mundial que privilegia a madeira como material empregado em larga escala como elemento estrutural. Países como os euro-centrais, os asiáticos, os Estados Unidos, a Inglaterra, entre outros, são exemplos marcantes desta abordagem. Procura-se neste artigo, em segundo lugar, de forma mais relevante e contundente, apresentar uma alternativa projetual arquitetônica para *Habitacões de Interesse Social* (HIS) que privilegiem a formação e a inserção no contexto global de crianças e jovens socialmente vulneráveis em situações habitacionais não dignas de um ser humano, na maioria das vezes sobrevivendo em favelas.

## ASPECTOS ENVOLVIDOS NA TEMÁTICA DA FORMAÇÃO E INCLUSÃO DE CRIANÇAS E JOVENS SOCIALMENTE VULNERÁVEIS

A temática da formação e inserção de jovens e crianças socialmente vulneráveis vem sendo um tópico dos mais relevantes dentro do contexto de uma sociedade dita preocupada com o bem estar de seus cidadãos.

O ato de dar de ombros à questão pode ser considerado no mínimo insano, senão despedido de qualquer lógica e espírito humanitário. Basta ver os altíssimos níveis de criminalidade infantil em comunidades que sobrevivem no entorno das pequenas, médias e grandes cidades.

Atos e ações esparsos têm emergido neste desértico campo de ideias, cite-se, como exemplar, o Programa da Universidade de São Paulo **Aproxima-Ação**. O Programa “[...] pretende tornar-se um espaço privilegiado de interlocução entre ações e projetos da Universidade e as demandas sociais comunitárias, e assim inventariar, articular e dar suporte a atividades de formação e inclusão social por meio de ações dentro das diversas áreas de conhecimento” [13].

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material

#### Madeira de reflorestamento

A utilização da madeira como material na construção de edifícios remonta a milhares de anos. Na Grécia antiga, com mais ênfase na passagem do período pré-socrático para o helênico, nota-se, com maior visibilidade, o emprego da madeira de forma consistente na estrutura de templos. A madeira, um elemento da Natureza, portanto renovável, com grande oferta, exige pouca energia para o seu processamento, sendo agradável ao tato, entre outras inúmeras qualidades.

O uso responsável da utilização do material madeira do Brasil e no mundo tem requerido uma abordagem bastante específica no sentido de propiciar condições criteriosas que privilegiam o seu processamento e seu emprego industrial de forma sustentável. No Brasil, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é o órgão definidor e regulador desta atividade para sua racional preservação, inclusive no que se refere à emissão de registro de produtos preservativos de madeira.

Segundo o IBAMA, um dos tópicos mais relevantes da preservação da madeira no Brasil está relacionado com a diminuição da pressão sobre as florestas nativas, desta forma, o aumento da vida útil da madeira resulta em uma maior conservação dos recursos naturais florestais do Brasil. Tem havido, por parte do setor de preservação de madeiras, um acentuado estímulo ao reflorestamento no Brasil devido à larga gama de espécies de reflorestamento para tais fins, como o pinus e o eucalipto, constituindo-se em alternativa viável para a substituição do uso das madeiras nativas, uma vez que essas espécies são passíveis de tratamento.

Recentemente, foi adotada pela legislação brasileira a obrigatoriedade do uso de madeira preservada nos serviços de utilidade pública, tendo como paradigma os setores elétrico e ferroviário. Devido à relevância da questão, o Instituto salienta que, referente aos riscos envolvidos em sua preservação, “a atividade de preservação de madeiras, envolve a utilização de produtos químicos, na sua grande maioria, altamente tóxicos e que, se não utilizados corretamente podem causar danos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente. Para que os benefícios dos preservativos de madeira superem os seus riscos, o IBAMA vem intensificando e ampliando diariamente suas atividades específicas” [10].

No caso do sistema estrutural focalizado neste artigo é priorizado o uso da madeira perfurada roliça de reflorestamento e o aço para as ligações metálicas (LM).

A concepção do sistema parte da premissa da essencialidade do emprego de madeira de reflorestamento, dando ênfase às espécies pinus (*soft wood*) e eucalipto (*hard wood*), cada uma utilizada conforme as características físicas mais adequadas para a sua aplicação [4].

Segundo Hellmeister [8], como matéria orgânica, a madeira participa “como um dos mais importantes fatores de equilíbrio biológico da natureza, a mesma tem explicação para sua formação como vegetal do mais alto nível de desenvolvimento”.

Em relação ao apodrecimento, algumas espécies são suscetíveis ao ataque de organismos em circunstâncias específicas, porém estas têm sua durabilidade prolongada quando

previamente tratadas com substâncias preservativas. Outros materiais estruturais, como o aço e o concreto armado, são produzidos por processos altamente poluentes, antecedidos por agressões ambientais consideráveis para a obtenção de matéria-prima.

Com relação à resistência da madeira ao fogo, Moura Pinto [12] acentua que é àquela que, “com ou sem proteção contra incêndio, tem grande probabilidade de resistir aos esforços solicitantes em temperatura elevada, de forma a evitar o seu colapso”.

Por suas características específicas, a madeira torna-se um excelente material para ser usado como elemento estrutural, tanto em estruturas de pequenos e médios portes, quanto em megaestruturas. A madeira possui grande flexibilidade quanto ao meio ambiente, apresentando diferentes possibilidades de aproveitamento, com perda pouco significativa de material nas reformas e ampliações, além de um fator altamente importante: a baixa demanda de quantidade de energia para a sua extração e processamento quando comparada a outros materiais.

**Tabela 1** – Dados comparativos de diferentes materiais estruturais. Fonte: Revista Brasileira em Engenharia Agrícola e Ambiental – Relatório PIT/SP [14].

MATERIAL	DENSIDADE (KN/M3)	ENERGIA PARA PRODUÇÃO (MJ/M3)	RESISTÊNCIA (MPA)	RELAÇÃO ENTRE VALORES DE RESISTÊNCIA E DENSIDADE
Concreto	24	1920	20,3	0,84
Aço	78	234000	250,4	3,21
Madeira	9	630	90,5	10,00

Pode-se observar na tabela 1 a alta resistência da madeira em relação à densidade, mostrando como a madeira propicia a produção de estruturas leves e resistentes. Outro aspecto que favorece a madeira é o fato de que o crescimento, a extração e o desdobro de árvores envolvem baixo consumo de energia, além de não provocarem prejuízo ao meio ambiente, desde que seja feito o devido manejo da área de extração.

Com relação à tecnologia do *MÓDULO (M)* é possível visualizar vantagens do sistema, seu design favorece a distribuição de esforços, de forma a diminuir o número de apoios necessários no solo. Na realização dos cálculos estruturais verificou-se que a estrutura é leve quando comparada a outros sistemas estruturais, o que acarreta fundações menos robustas.

Como se pôde ver até então, sua tecnologia, além de uma inovação de produto, pode ser observada como uma inovação de processo, dado que a sua montagem é muito particular frente o das tecnologias similares. Em comparação ao processo padrão realizado pelas tecnologias similares, esta tecnologia requer pouco espaço no canteiro de obras, isso porque os módulos da estrutura podem ser transportados em pallets, ocupando menos espaço no veículo de carga.

O Brasil é um país privilegiado em termos de diversidades de espécies provenientes de florestas naturais e artificiais, apresentando algumas espécies de alto rendimento para emprego em elementos constituintes estruturais.

Depreende-se daí, que a madeira possui qualidades especiais para construções civis, dotada de características únicas de aplicabilidade, pela sua facilidade de manuseio e alto índice de trabalhabilidade, apresentando, apesar de sua densidade diminuta em relação a outros materiais, grande resistência mecânica.

A madeira de reflorestamento empregada no *MÓDULO (M)* apresenta níveis de desempenho estruturais bastante satisfatórios, mostrando-se como alternativa projetual e construtiva excelente para aplicação em diversos programas funcionais capaz de ser implantado em diferentes declividades e terrenos de difícil acesso.

Esse sistema, em termos estruturais, é basicamente composto por treliças espaciais, pilares tipo “diamante” (DA), vigas principais, vigas secundárias e vigas barrotes, sendo seus elementos estruturais em madeira unidos por ligações metálicas (LM), utilizando cavilhas de madeira como conectores. Empregando-se todos estes meios e métodos, em ensaios de compressão realizados no LaMEM/SET/EESC/USP com o pilar “diamante” (DA), elemento mais relevante do *MÓDULO (M)*, o seu comportamento estrutural foi excelente.

## Aço

Nas ligações metálicas (LM) do *MÓDULO (M)* empregaram-se aço 1010/1020, pertencendo ao tópico dos itens mais relevantes neste sistema. Inicialmente, optou-se pelo emprego de (LM) em função de já ter sido utilizada com sucesso pela parceria de autores Herzog, Natterer, Schweitzer, Volz e Winter [9] que desenvolveram ligações deste tipo em treliças planas dotadas de peças de madeira laminada colada, vencendo grandes vãos e utilizando cavilhas de madeira.

Em termos de normalização do emprego de ligações metálicas, a NBR 7190 [2] não privilegia conexões, ligando duas peças de madeira perfilada roliça ou serrada, tendo entre elas uma chapa metálica; diante disso, empregou-se as Normas Eurocode 5 [5] e a Espanhola UNE-EN 409 [16]. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tem as normas “Ligações em estruturas de aço”, NBR 8800 [3], que define o cálculo do dimensionamento das ligações metálicas (LM).

Estas Normas são adaptadas às condições do *MÓDULO (M)* para a determinação por meio de esforços de compressão dos deslocamentos relativos correspondentes, conseqüentemente às deformações correspondentes e, por fim, a força convencionada  $F_c$ , para o cálculo do número de cavilhas de madeira por ligação metálica (LM).

Outro aspecto envolvido, quando se utiliza chapas metálicas soldadas entre si ou chapas soldadas a tubos metálicos, é que se consegue estabelecer estruturas com configurações espaciais das mais variadas, inclusive as que remetem à imagem da “árvore”.

O *MÓDULO (M)* emprega ligações (LM) com chapas soldadas a tubos, utilizando elementos estruturais de madeira (barras) conectadas por chapas e solidarizadas por meio de cavilhas de madeira. No caso da junção de madeira com madeira, a ligação é feita pelo contato direto das peças, por concavidades das mesmas e solidarizadas por parafusos autoatarraxantes.

A espessura da chapa de aço para as ligações metálicas (LM) no experimento citado anteriormente foi determinada por cálculo específico conforme a Norma 8800:1986 – “Projeto de execução de estruturas de aço em edifícios” – bem como o número de

conectores por (LM) da espécie Pau-roxo (*Peltogyne recifenses Ducke*), Classe C6o. Também fez-se necessário para o cálculo da estabilização da estrutura o uso da Norma NBR 6123 [1], “Forças devidas ao vento em edificações”. A madeira especificada para os elementos de barra foi da espécie eucalipto clonado AMARU ou similar.

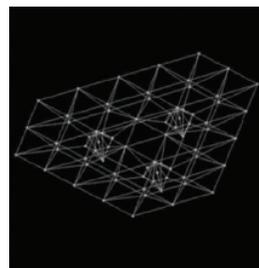
As ligações apresentam-se como um dos elementos constituintes do *SETA* e de seu pilar “diamante” de apoio (DA) de maior relevância na função dessa tecnologia, pois tornam possível uma configuração espacial do sistema estrutural agradável ao olhar e essencialmente lógica.

As ligações metálicas (LM) transladam os esforços nas barras, de maneira a simular, as fibras dos componentes de uma árvore (no caso da árvore, nós rígidos, enquanto que, nas treliças espaciais, nós articulados). Desta forma, possibilitam que os esforços axiais sejam contínuos ao longo da estrutura, resultando em reduções das dimensões das peças, trazendo como consequência uma esbelteza das formas da estrutura (os comprimentos das peças de madeira são no máximo de quatro metros, para compatibilizar com os comprimentos das carrocerias usuais de caminhões).

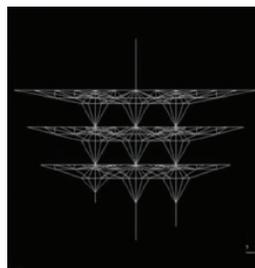
## Métodos

O *MÓDULO (M)* é um dos elementos estruturais que compõem o *Sistema Estrutural Treliçado Modular em Madeira (SET-2M)*, posteriormente denominado *Sistema Estrutural Tipo Árvore (SETA)*, alvo da de Doutorado na FAU-USP, sendo desenvolvido, no momento, no LaMEM/SET/EESC/USP. Caracteriza-se por se repetir nos planos de laje (PL) que se superpõem (Figura 3) e formam o sistema estrutural [7].

Figura 3 – Maquete digitalizada do SETA (a) e (b); maquete física do SETA, mostrando detalhes de modelo de construção (maquete na escala 1:25) – Residência Unifamiliar de 385 m2 (c).



(a)



(b)



(c)

A *análise inicial* do cálculo numérico do *SETA* foi feita pelo Engenheiro Marcos Monteiro da firma PLANEAR/SP, utilizando o *software MIX* (Figura 3a e 3b).

O *SETA* tem Pedido de Patente depositado junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) sob nº P.I. 0.600.454-7 com o título “*Sistema Estrutural Modular Tipo Árvore*”, em 27/01/2006, do qual a Universidade de São Paulo figura como Titular. A par desse fato, o referido Projeto foi encaminhado pela Agência de Inovação da USP para a sua inserção no Programa de Investigação do Estado de São Paulo (PIT/SP), sendo que o Relatório de Investigação da Tecnologia foi concluído em setembro de 2007. O mesmo sistema foi premiado em Concurso Público Federal pelo Conselho Federal de Engenharia,

Arquitetura e Agronomia (CONFEA), sendo a certificação ocorrida durante o WORLD ENGINEER'S CONVENTION 2008 (WEC 2008) em dezembro de 2008.

A partir do *SETA* foram desenvolvidos diversos estudos de casos em madeira perfilada roliça, com os mais variados programas funcionais, dentre eles destacam-se: *Residências uni e multifamiliares, Centros de pesquisas, Centros de recreação e cultura, Unidades Educacionais, Abrigos (parada) de ônibus, Cochos para bovinos.*

No contexto projetual é difícil desassociar-se o *SETA* do seu pilar “diamante” de apoio (DA), referente a essa concepção, todavia, a bem da verdade, o *SETA* foi projetado a partir do pilar “diamante” de apoio (DA).

O projeto do *SETA* e, particularmente, o seu “diamante” de apoio (DA) foram pensados segundo abordagem que privilegiou uma Arquitetura que tivesse sérias preocupações com a Natureza, sua preservação, causando o mínimo impacto ao ambiente. Para tal, tornou-se fundamental a escolha de um sistema construtivo que atendesse a tais requisitos, a começar por ter poucos pontos de contato com o solo, fosse um sistema modular, pré-fabricado, dotado de racionalidade construtiva e empregasse um material renovável no seu elemento constituinte mais relevante (a estrutura) e, também, confortável ao tato.

Por sua concepção projetual especial foram criadas condições de dissipação de esforços em suas barras, minimizando assim as cargas que atuam sobre elas e são transferidas aos pilares de concreto que se assentam nas diferentes declividades do solo, possibilitando elementos estruturais de dimensões reduzidas quando comparado a outros sistemas estruturais convencionais em madeira.

Graças a seu *design*, a quantidade de mão de obra não especializada (operários) é diminuta, fazendo-se necessário, ao menos, um profissional carpinteiro no canteiro de obras e dois ajudantes.

A quantidade de equipamentos no canteiro de obras também é reduzida, dado o menor peso da estrutura, o que exclui a necessidade de tratores e máquinas de içamento pesadas, sendo necessária apenas uma pequena grua tipo caminhão-Munk (guindaste menor, mais simples).

Há um mínimo impacto no ambiente a ser implantado do *SETA* e seu “diamante”, pois exige mínimo espaço para canteiro de obras e se apoia sobre três pilares de concreto que são ancorados no solo de forma pontual.

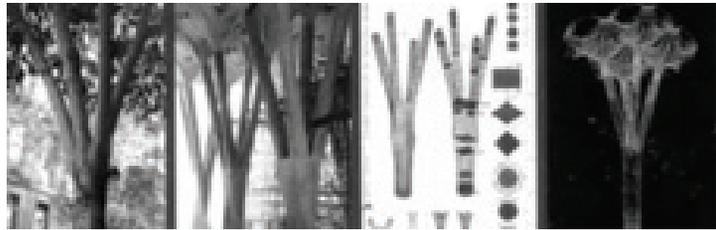
Quando de juntam três DA formando o *SETA*, deve-se também levar em consideração todo o envolvimento de fatores ecológicos, bem como a inserção do artefato arquitetônico no solo se verificar através de somente três pontos de apoio. As montagens dos elementos constituintes dos DA processam-se através da utilização de recursos simples, exigindo equipamentos e ferramentais disponibilizados correntemente no prazo de montagem exíguo devido às suas características projetuais de concepção e de construção.

Aliado a todos estes atributos, o *SETA* e seu pilar “diamante” (DA) apresentam uma excelente relação custo-benefício quando pensada sua fabricação em termos de escala de mercado, apresentando diversas possibilidades para implantação de programas funcionais: residências uni e multifamiliares, *shopping centers*, hangares para abrigar aeronaves de pequeno, médio e grande porte, chalés, centros de pesquisa, entre outros.

Colocadas todas essas hipóteses e condicionantes, além de outras, em sua concepção projetual, o sistema estrutural ideal escolhido foi o que remeteu à imagem metafórica

da árvore, fazendo-se alusão à obra do Arquiteto catalão Antoni Gaudí, na obra *Sagrada Família*, em Barcelona, Espanha (Figura 4).

Figura 4 – Obra:  
Pilares da Sagrada  
Família [11]



Outra característica projetual relevante é a questão dos aspectos bioclimáticos envolvidos na concepção desse sistema estrutural, entre outros, a aeração natural ocorrida em função das características específicas (vazios) do sistema estrutural projetado. Este sistema é composto por planos de laje, sustentados por três pilares, “diamantes” de apoio (DA), caracterizando as três treliças espaciais (TE), que ligam estes “diamantes”, resultando assim a aeração natural.

Com relação à tecnologia em si, já é possível visualizar uma vantagem do sistema, pois seu *design* favorece a distribuição de esforços, de forma a diminuir o número de apoios necessários. Além disso, ainda nessa etapa, verificou-se, na realização dos cálculos estruturais, que a estrutura é leve, o que resulta em fundações menos robustas.

Como se pode ver, a tecnologia, além de uma inovação de produto, conduziu a uma inovação de processo, dado que esse processo de montagem é muito particular frente ao das tecnologias similares. Em comparação ao processo padrão realizado pelas tecnologias similares, a mesma requer pouco espaço no canteiro de obras, isso porque os módulos da estrutura podem ser transportados em *pallets*, o que ocupa menos espaço no veículo de carga.

Consideradas todas estas condicionantes e hipóteses, procederam-se aos cálculos teóricos, elaborados a partir do texto referencial “Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira” de autoria de Calil Junior, Rocco Lahr e Dias [4], que leva em consideração a ABNT NBR 7190 [2].

Estes cálculos foram complementados pela aplicação do software *CYPECAD*, versão 2007.1.i, que tem como base o método de elementos finitos. A opção pela utilização deste *software* se deu em virtude do mesmo considerar também no dimensionamento da estrutura as recomendações da ABNT NBR 7190 [2].

Foi definida a espessura das chapas de aço que compuseram as ligações metálicas (LM) e, ao mesmo tempo, especificou-se a espécie roxinho (*Peltogyne recifencis Ducke*), Classe C60, usada nas cavilhas das ligações metálicas (LM).

A madeira especificada para os elementos das barras em madeira do (DA) foi o *Pinus oocarpa*, madeira classificada Classe C40.

Com esses dados e os cálculos elaborados, construiu-se o pilar “diamante” (DA) na Oficina Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos e o mesmo foi ensaiado posteriormente no LaMEM à compressão paralela às fibras (Figura 5).

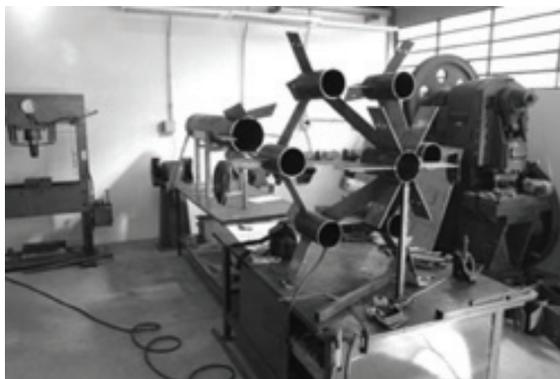


Figura 5 – Ligações metálicas (LM) – escala real.

## CARACTERIZAÇÕES DA TECNOLOGIA: FUNÇÃO DA TECNOLOGIA DO SETA E DE SEU DA

O *SETA* é uma estrutura espacial que possui um *design* diferenciado das estruturas normalmente utilizadas. Ela tem por principais características ser modulada, feita em madeira e o fato de poder ser implantada em terrenos de declividade variada. O elemento que articula esta adequação à topografia do terreno é o pilar de concreto, que se assenta sobre as diferentes declividades do solo de implantação em diferentes alturas.

Esse sistema é definido e composto pelos seguintes elementos estruturais: três pilares “diamante” de apoio (DA), três treliças espaciais (TE), vigas principais, vigas secundárias e vigas, formando o plano de laje (PL) (Figura 6).

Deve ser evidenciada, neste ponto, a relevância do projeto estrutural ser desenvolvido de modo a serem previstos detalhes construtivos que garantam maior durabilidade do material empregado, evitando-se a exposição excessiva aos raios solares e à chuva.

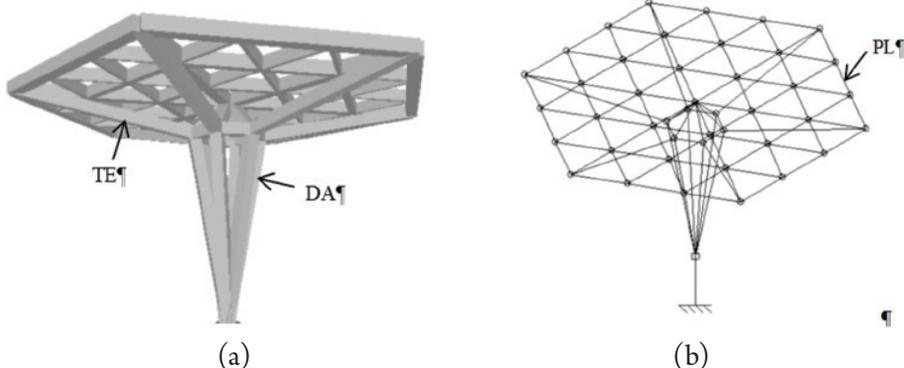


Figura 6 – Modelagem do MÓDULO (M) no CYPECAD: perfil real (a) e discretização de barras e nós (b).

O fato de a estrutura ser modular possibilita a maximização do processo de montagem de megaestruturas, pois requer espaços exíguos no canteiro de obras, redução da mão de obra não especializada e não há a necessidade de uso de equipamentos pesados. O desenho desse sistema estrutural é singelo por possuir estruturas de sustentação e

nós particulares, além de possibilitar a aplicação da estrutura em terrenos de alturas variadas, já que as colunas ajustam-se em função de diferentes declividades do solo.

### ENSAIO DO PILAR “DIAMANTE” DE APOIO (DA)

Com o intuito de confirmar em ensaio de laboratório o desempenho altamente interessante do pilar “diamante”, foi construído, na Oficina Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos, um protótipo com as seguintes características:

- » Elementos de sustentação: peças cilíndricas de *Pinus oocarpa*, com diâmetro médio de 16 cm;
- » Elementos metálicos para a composição, incluindo peças cilíndricas vazadas e prolongamentos planos, solidarizados por meio de solda;
- » Ligações com cavilhas de diâmetro de 16 mm, torneadas a partir de peças da espécie pau-roxo também conhecida como roxinho (*Peltogyne recifencis Ducke*).

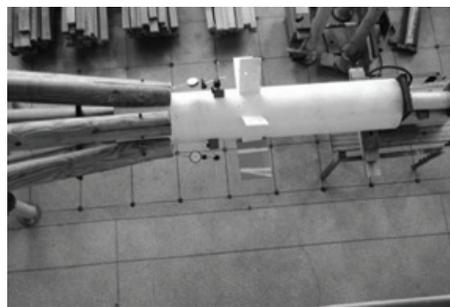
O ensaio ocorreu com o pilar “diamante” (DA) posicionado na horizontal, de modo a facilitar a aplicação das forças que representam a sollicitação de compressão paralela a que o referido elemento estrutural está sujeito em serviço. Na Figura 7 (a) se apresenta o pilar na posição de ensaio.

As forças foram aplicadas por intermédio de um cilindro hidráulico de 50 kN de capacidade nominal acionado manualmente. A transmissão das forças para o conjunto estrutural se processou com o auxílio de aparato metálico integrado por barra (previamente aferida) e placas. A leitura das forças foi feita utilizando o equipamento *Kiowa*: STRAIN INDICATOR, modelo SM-60B (Figura 7b).

Foi aplicada força máxima de 15,0 kN, ligeiramente superior ao dobro da força prevista nos cálculos pelo *CYPECAD*, da ordem de 7,3 kN.

Na Figura 7 (a) aparece o cilindro hidráulico que comprime o pilar “diamante” de apoio (DA), atuando longitudinalmente, ao passo que, na Figura 6, é mostrado o aparelho medidor de força da célula de carga, o *KYOWA*. As duas Figuras, 7a e 7b, se complementam, pois, em conjunto, retratam toda a dinâmica do ensaio de compressão a que foi submetido o pilar “diamante” (DA).

Figura 7 – Ensaio a compressão feito no LaMEM (a); sistema de aquisição de dados (b).



a)



b)

Deslocamentos relativos entre elementos metálicos de solidarização do conjunto estrutural foram medidos com relógios comparadores com sensibilidade de 0,01 mm. Tais deslocamentos foram desprezíveis.

O ensaio foi desenvolvido em quatro repetições e confirmou o excelente desempenho, sob solicitação, do pilar “diamante” (DA).

## PROGRAMAS FUNCIONAIS DO “MÓDULO (M)” E DO SEU DESDOBRAMENTO PROJETUAL O “SISTEMA ESTRUTURAL ESTAIADO TIPO ÁRVORE – S2ETA”

O programa funcional definido para o *MÓDULO (M)*, desdobramento projetual do *SETA*, foi um *Centro de recreação e cultura* para sete crianças/jovens, contendo um lavabo social, apresentando área construída de 23 m<sup>2</sup>. Adotou-se para a sua concepção projetual o triângulo equilátero como elemento geométrico básico (EGB) de 0,90 m de lado, em função da exiguidade de espaço da área externa do LaMEM, pois sua construção não poderia inviabilizar a passagem de caminhões nesta área.

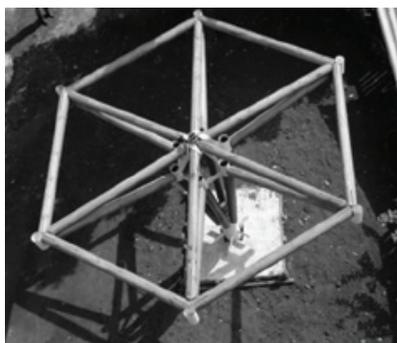
Em função desta modularidade, o *MÓDULO (M)* pode ter um gama de variações abrangentes, como por exemplo, quando o (EGB) de 1,50 m for adotado, a área passa a ter 64 m<sup>2</sup> e neste caso pode acolher 17 crianças/jovens, em princípio, dentro de uma programação de ocupação de 2 ou 3 dias/ por semana. A Figura 8 expressa a sequência de montagem do *MÓDULO(M)* no LaMEM.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 8 – Sequência de montagem do *MÓDULO (M)* no LaMEM (Julho de 2012).



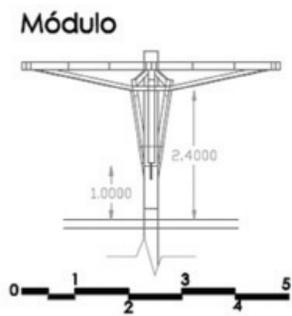
(e)



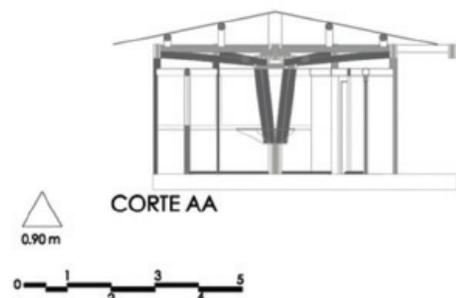
(f)

A Figura 9 apresenta o programa funcional do *MÓDULO (M)* de um *Centro de lazer e cultura* de 23 m<sup>2</sup> para crianças e jovens socialmente vulneráveis.

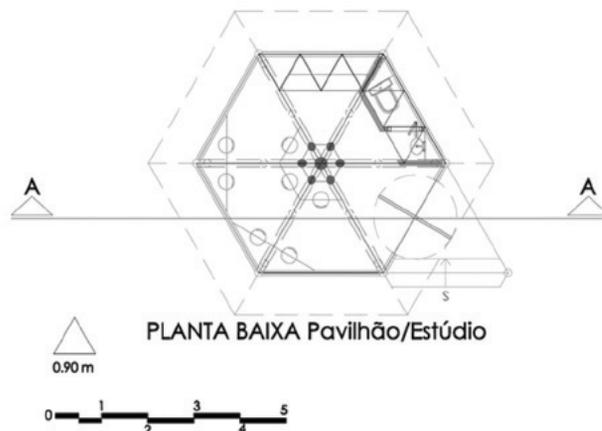
Figura 9 – Plantas do MÓDULO (M).



(a)



(b)



(c)

Outra característica do *MÓDULO (M)* é a possibilidade de ser implantado em terrenos difíceis, de diferentes declividades, mas, para isto, é apresentada uma nova abordagem projetual, derivada de sua concepção original. Desta forma, foi criado o *Sistema Estrutural Estaiado Tipo Árvore (S2ETA)* que se adapta às diferentes declividades em função de seus estais, comportando vários programas funcionais, inclusive para *Centros de recreação e cultura*, sendo dotado de dois ou mais pavimentos, mais a cobertura, com áreas construídas substancialmente superiores às do *MÓDULO (M)* (Figura 10).

Destaca-se que o *MÓDULO (M)* foi o vencedor do “III Concurso Brasileiro de Arquitetura em Madeira”, categoria profissional, com o título “Cobertura em madeira do Módulo do Sistema Estrutural Tipo Árvore – SETA”, no âmbito do XII Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas de Madeiras (EBRAMEM), realizado na cidade de Vitória, Espírito Santo, em julho de 2012.

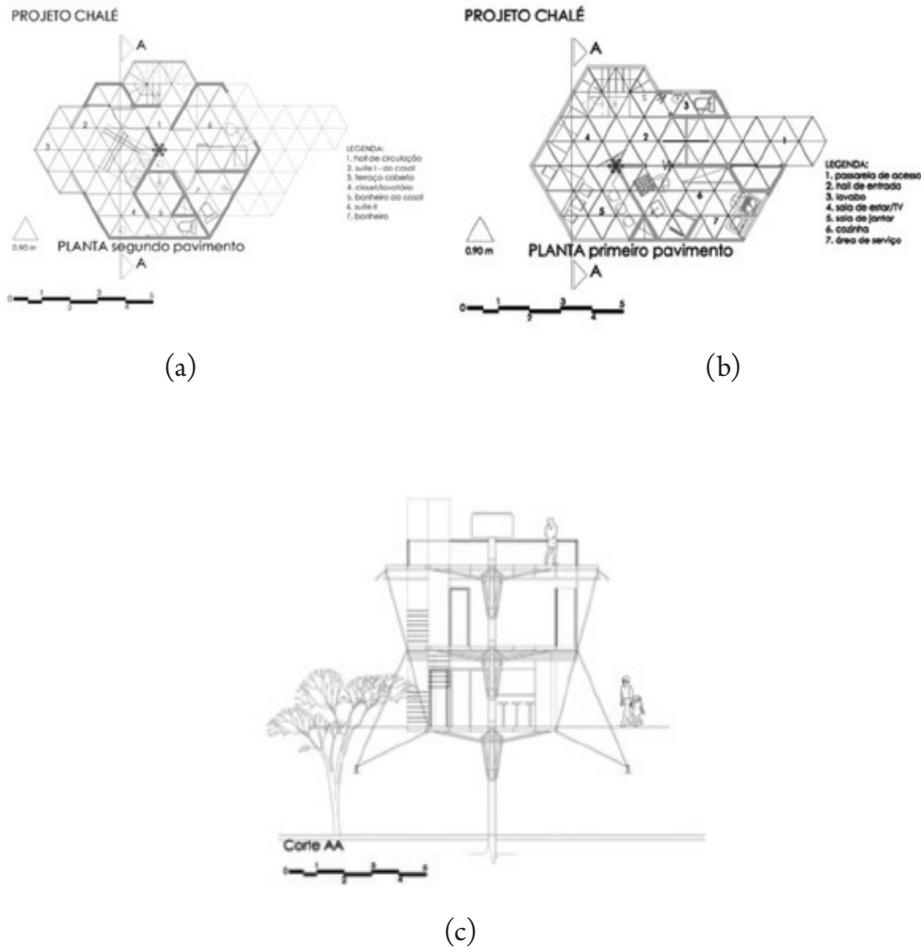
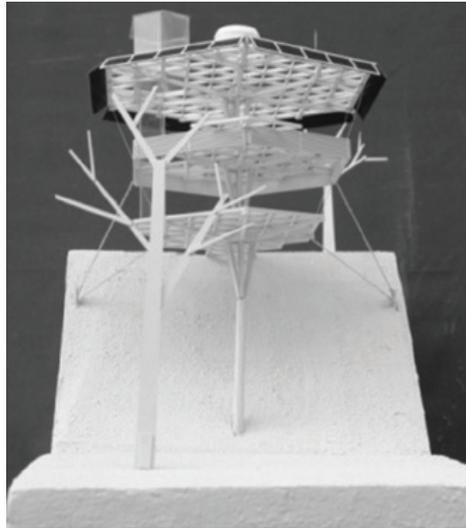


Figura 10 – Plantas do programa funcional Residência unifamiliar do Sistema Estrutural Estaiado Tipo Árvore – S2ETA.

A Figura 11 mostra maquetes físicas do S2ETA.

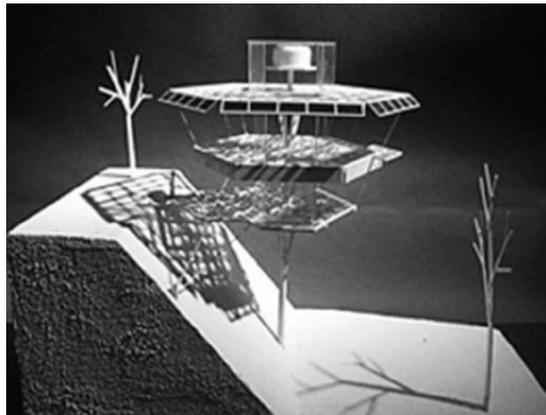
Figura 11 – Maquetes físicas do S2ETA.



(a)



(b)



(c)



(d)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O MÓDULO (M) e o seu desdobramento projetual o Sistema Estrutural Estaiado Tipo *Árvore* – S2ETA são caracterizados como “*on going projects*”, ou seja, são projetos em desenvolvimento, daí serem inseridas algumas alterações projetuais e construtivas de forma consistente e rotineira em função de buscar-se uma tecnologia que esteja *up-to-date* com os mais avançados métodos que privilegiem técnicas aprimoradas de pensar e executar sistemas estruturais e construtivos em madeira perfilada roliça de reflorestamento.

## CONCLUSÕES

O período pós-1990, no Brasil e no mundo, foi marcado por alguns experimentos investigativos singulares e singelos quanto ao *pensar uma obra*, ainda que esparsos, privilegiando o emprego da madeira em suas concepções projetual e construtiva. Paralelamente, nesta época, surge uma nova mentalidade ecológica no trato com esse material. Ao mesmo tempo, com o aparecimento de novos processos de usinagem e montagem, da implantação de sistemas racionais de pré-fabricação, aliados à vontade de criar algo singular e singelo, esses fatores somados foram o *turning point* desta gestação longa e difícil [15].

O *SETA* e seus desdobramentos projetuais (o *MÓDULO (M)* e *S2ETA*), entre outros projetos em desenvolvimento, se apresentam como alternativas estruturais viáveis para aplicações nos mais diversos programas funcionais, aliado ao fato, de poder ser implantado em terrenos com declividades variadas, os chamados terrenos difíceis.

Suas implantações causam mínimo impacto ao seu entorno, exigindo espaço exíguo para sua montagem e reduzido pessoal para sua montagem e implantação. Apresenta um *Rendimento estrutural R* bastante interessante, da ordem de 15, ou seja, para cada metro cúbico de madeira empregada em seu processo de fabricação, resultam 15 metros quadrados de área útil [15].

Salienta-se que esses projetos, no desenvolvimento atual do processo construtivo, ainda são uma obra não conclusiva, em contrapartida, o seu pilar “diamante” de apoio e o *MÓDULO (M)* já são uma realidade construtiva.

Destaca-se o excelente desempenho das cavilhas de madeira da espécie roxinho nos ensaios à compressão paralela às fibras, realizados no LaMEM/SET/EESC/USP, *Campus* de São Carlos.

Por fim, mas não menos pertinente, vale reafirmar a premência do emprego da madeira perfilada roliça, pensando-a como uma das primeiras opções projetuais e construtivas em obras civis, com ênfase em sistemas estruturais. O *SETA*, bem como o seu pilar “diamante” de apoio (DA) e seus desdobramentos projetuais, entre eles o *MÓDULO (M)*, são possibilidades reais de aplicações em sistemas estruturais, que têm a preocupação com o singular e o singelo. Acredita-se que, com esta abordagem, resultarão obras de alto valor arquitetônico e permeadas com preocupações ecológicas.

É relevante salientar que a aplicação dessa tecnologia em madeira para fins sociais tem uma relevância ímpar na abordagem da formação e inclusão de crianças e jovens socialmente vulneráveis.

## REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto e execução de estruturas de aço em edificações – Método dos elementos**

- finitos**. Rio de Janeiro, 1986.
- [4] CALIL JR, Carlito; ROCCO LAHR, F. A.; DIAS, A. A. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. Barueri: Editora Manole, 2003.
- [5] EUROCODE 5. **Design of timber structures – General Rules: General rules and rules for buildings**, 2002.
- [6] FARAH, F. **Habitações em encostas**. 1 ed., v. 1, 311p, São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2003.
- [7] GONÇALVES, D. **Sistema Estrutural Treliçado Modular em Madeira - SET 2M**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- [8] HELLMEISTER, J. C. **CARACTERÍSTICAS**. I ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Ebramem, Anais, Volume 1. LaMEM/SET/ EESC/USP, jul. 1983
- [9] HERZOG, T., NATTERER, J., SCHWEITZER, R., VOLZ, M. **Timber Construction Manual**. Munich: Edition Detail, 2004.
- [10] INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Disponível em: <www.ibama.gov.br>. Acesso em: 02 jul. 2013.
- [11] INSTITUTO TOMIE OHTAKE (Org.). **Gaudí: A Procura da Forma**. Instituto Tomie Ohtake, São Paulo, 2004.
- [12] MOURA PINTO, E. **Estudo da taxa de carbonização da madeira e sua relação com a resistência de peças estruturais**. IX ENCONTRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. Ebramem. LaMEM/SET/ EESC/USP, jul. 2004.
- [13] PROGRAMA APROXIMAÇÃO. Disponível em: <www.prceu.usp.br/programas/aproximacao>. Acesso em: 19 jul. 2013.
- [14] PROGRAMA DE INVESTIGAÇÃO DA TECNOLOGIA (PIT). **Relatório de investigação tecnológico**. AGÊNCIA DE INOVAÇÃO USP/SP, set. de 2007.
- [15] STUNGO, N. **The New Wood Architecture**. London: Laurence King Publishing. 1998.
- [16] UNE-EN 409. Estructuras de madera – **Métodos de ensayo – Determinación del momento plástico de los elementos de fijación tipo clavija**, Madrid, 2009.

**FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR** professor titular do Departamento de Engenharia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) – e-mail: frocco@sc.usp.br

**CARLITO CALIL JR.** professor titular do Departamento de Engenharia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) – e-mail: calil@sc.usp.br

**DECIO GONÇALVES** professor com pós-doutorado pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) – e-mail: dg@sc.usp.br

**ANDRÉ LUIS CHRISTOFORO** professor da Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ) – e-mail: alchristoforo@yahoo.com.br