

MANUAL DE PROJETO E CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS COM PEÇAS ROLIÇAS DE MADEIRA DE REFLORESTAMENTO

Leandro Dussarrat Brito¹ & Carlito Calil Junior²

Resumo

Este trabalho tem por finalidade a proposta de um manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira tratada, oriunda de madeiras de reflorestamento no Brasil. Para isto foram realizados estudos teóricos e experimentais de elementos estruturais e de ligações em madeiras utilizando peças roliças. Foram classificadas e caracterizadas peças roliças estruturais de madeira, visualmente e mecanicamente. Como exemplos, foram catalogadas através de fichas técnicas, diversos tipos de projetos e construções de pontes, passarelas, edificações, coberturas e torres com os sistemas estruturais e construtivos em peças roliças de madeira de reflorestamento (eucalipto e pinus), construídos no Brasil e no exterior. Os resultados foram compilados em um manual de projeto e construção de estruturas de madeira utilizando peças roliças. O estudo teve, além disso, o objetivo de divulgar, as possíveis técnicas alternativas na área de estruturas e na construção civil, utilizando peças roliças de madeira, proporcionando a economia e favorecendo o meio ambiente de forma sustentável, promovendo o ciclo de geração das florestas.

Palavras-chave: Estruturas de madeira. Sistemas estruturais e construtivos. Ligações entre elementos estruturais. Madeira roliça tratada. Construção sustentável.

MANUAL OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF STRUCTURES WITH ROUND PIECES OF REFORESTATION WOOD

Abstract

This work aims at the elaboration of a draft manual of design and construction of structures with round pieces of treated timber that comes from reforestation in Brazil. For this, it was carried out theoretical and experimental studies of structural elements and connections in roundwood. It was classified and characterized pieces of structural timber, visually and mechanically. As examples it was listed through fact sheets, various types of projects and construction of bridges, walkways, buildings, roofs and towers with structural systems and timber construction with reforestation wood (eucalyptus and pine), built in Brazil and outside. The results were compiled into a manual of design and construction of timber structures. The study also aims to disclose the possible alternative techniques in the structure area and construction projects using pieces of roundwood, providing the economy and benefiting the environment in a sustainable manner, promoting the generation cycle of forests.

Keywords: Wooden structures. Structural systems and building. Connections between structural elements. Treated roundwood. Sustainable construction.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de elementos estruturais de madeira no Brasil tem crescido ao longo dos últimos anos em virtude das pesquisas realizadas, no sentido de torná-la um material mais competitivo com relação a outros materiais empregados com função estrutural, tais como o aço e o concreto. Como um material de construção, a madeira é abundante, versátil e facilmente obtida. Quase metade da área do Brasil é

¹ Mestre em Engenharia de Estruturas - EESC-USP, dussarrat@sc.usp.br

² Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas da EESC-USP, calil@sc.usp.br

coberta por floresta. Se tecnologicamente manipulada e protegida de desastres naturais causados por fogo, erosões, insetos e doenças, as florestas irão garantir condições de sobrevivência para as gerações futuras.

O plantio e o abate de árvores reflorestadas são efetuados em processo de ciclo de regeneração. Conforme as árvores mais velhas são retiradas, elas são substituídas por árvores novas para reabastecer a oferta de madeira para as gerações futuras. O ciclo de regeneração, pode facilmente superar o volume que está sendo utilizado, garantindo a sustentabilidade.

Há a necessidade de se desenvolver estudos para encontrar alternativas de materiais viáveis economicamente e que atendam os requisitos da construção sustentável. Os possíveis sistemas estruturais, utilizando peças roliças de madeira em construções civis de postes de eletrificações; defensas; barreiras acústicas; muros de contenções de terra; pontes; passarelas; edificações residenciais e comerciais; galpões rurais e industriais; coberturas e torres de observação, aparecem como opções a este grande desafio por conciliar aspectos de sustentabilidade social, econômica e ambiental.

Embora a madeira seja suscetível ao apodrecimento e ao ataque de insetos sob condições específicas, ela é um material muito durável quando utilizada com tecnologia e tratamento químico, pois pode ser efetivamente protegida contra deterioração por período de 50 anos ou mais.

Neste estudo, são abordadas, as principais características das peças roliças de madeiras de reflorestamento, os principais tipos de classificações, caracterização, propriedades de resistência e elasticidade, e as classes de uso para tratamento de preservação da madeira, para garantir o aumento da vida útil das estruturas.

Também são apresentados os principais tipos de ligações usuais entre os elementos estruturais com peças roliças.

E por fim, são apresentados, alguns exemplos destes sistemas estruturais usuais para construções de estruturas com peças roliças de madeira, tais como, postes de eletrificações; defensas; barreira acústica; muro de contenção de terra; passarela estaiada; ponte mista de madeira roliça e concreto armado; ponte composta por vigas de madeira roliça; edificações residenciais composta por pórticos; edificações residenciais compostas por painéis autoportantes; galpões; coberturas; torres de observação executadas com madeira de reflorestamento (eucalipto e pinus).

Este trabalho tem por objetivo apresentar indicações para projetos e construções de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento, com o intuito de oferecer a estudantes e profissionais das áreas de Engenharia Civil e Arquitetura informações tecnológicas de diversos sistemas estruturais e tipos de ligações entre elementos estruturais.

2 METODOLOGIA

Como o projeto de estruturas com Peças Roliças de Madeira de Reflorestamento no Brasil, trata-se de um tema relativamente novo, ainda existe pouca bibliografia específica relacionada ao assunto. Desta forma, torna-se fundamental a criação de tabelas de caracterização de vários diâmetros e de várias espécies de Madeira Roliça de Reflorestamento, considerando efetivamente a seção circular das peças e que poderão ser anexadas a uma futura revisão da NBR 7190.

Também foram elaboradas fichas técnicas com a finalidade de apresentar diversos exemplos de projetos e construções de estruturas com peças roliças de madeira, na grande maioria proveniente de reflorestamento. Para esta etapa através de contatos com profissionais de usinas de preservação de madeira, empresas de engenharia e arquitetura, e instituições que projetaram ou desenvolveram pesquisas e construções com peças roliças de madeira de reflorestamento tratadas, foram catalogadas as informações técnicas, a fim de confeccionar fichas técnicas de obras utilizando este material, visando realizar um rastreamento, listando as experiências e estudos existentes, desenvolvidos no Brasil e no exterior.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Principais características

Estruturas projetadas com Peças Roliças de Madeira apresentam grandes vantagens, comparadas com as de Peças de Madeira Serrada, correlacionando, sustentabilidade econômica e ambiental. No processo de industrialização das Peças Roliças de Madeira, há uma grande redução de custo, pois requer menos investimento em equipamentos e maquinários, gerando redução na mão-de-obra, menos consumo de energia e menos desperdícios dos recursos naturais e matéria prima. Durante os processos de corte das Madeiras Serradas, geram-se resíduos da ordem de 60% a 70% da peça original, para garantir a planicidade das peças e conseqüentemente, as peças estruturais apresentarão menores dimensões transversais, diminuindo a resistência da peça, conforme a figura 1.

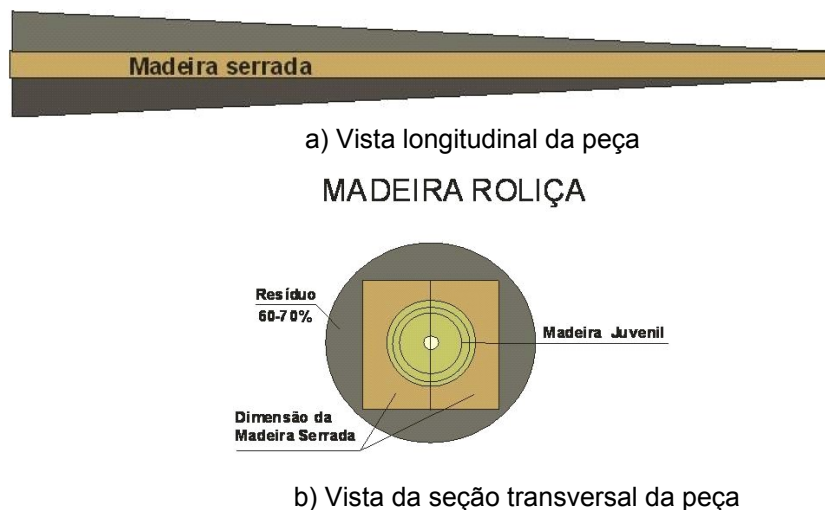


Figura 1 – Comparativo de aproveitamento entre a peça de madeira roliça e a madeira serrada. Fonte: CALIL (2007) *apud* BRITO (2010).

As principais desvantagens das Peças Roliças de Madeira devido às características geométricas estão em garantir a aquisição de peças retilíneas, e com pouca variabilidade dimensional, devido à conicidade.

Outra vantagem importantíssima na atualidade, para a utilização em construções de estruturas de madeira com peças roliças, é o fato de que estas madeiras são sempre provenientes de árvores reflorestadas, preservando assim as florestas nativas.

Apesar do reflorestamento de eucalipto ser uma monocultura, apresenta um grande benefício ambiental. Um importante fator positivo é o grande potencial de seqüestro de dióxido de carbono (CO₂). As árvores jovens de grande produção de biomassa e de curto ciclo necessitam de grandes quantidades de CO₂ para promover à fotossíntese. O potencial de seqüestro de CO₂ é considerado, pela maioria dos pesquisadores, um dos principais, senão o principal, critério na avaliação do benefício eco-ambiental de uma planta. A elevada produção de biomassa e a alta rotação transformam o eucalipto em um campeão de seqüestro de gás carbônico, o principal causador de efeito estufa. Os grandes devoradores de CO₂ são as árvores em fase de crescimento. Quanto maior sua rotatividade mais eficiente é o processo.

3.2 Classificação de peças roliças

As peças roliças de madeira são classificadas através de dois principais critérios: a classificação

visual e a classificação mecânica.

3.3 Classificação visual

A classificação visual é baseada na premissa de que as propriedades mecânicas de uma peça de madeira diferem das propriedades mecânicas da madeira isenta de defeito devido às características de crescimento, e tais características podem ser vistas e julgadas pelo olho humano. Com o auxílio de regras de classificação, as características de crescimento são usadas para selecionar a madeira em classes de qualidade.

As principais particularidades para classificação visual, descritas na NBR 8456:1984 para aceitação de postes preservados deve possuir características padrão e ter acabamento.

Conforme o item “Defeitos inaceitáveis” da NBR 8456:1984, os postes devem ser isentos de sinais de apodrecimento, principalmente no cerne; avarias no albarno provenientes do corte ou transporte; fraturas transversais; depressões acentuadas. Já no item “Defeitos aceitáveis”, considera-se que são aceitáveis certos defeitos, porém com extensão limitada, tais como, curvatura; sinuosidade em qualquer trecho; fendas no topo, corpo e base; rachas no topo e na base e com profundidade máxima de 5 cm; nós ou orifícios de nós existentes em qualquer trecho de 30 cm; veios inclinados ou espiralados.

3.4 Classificação mecânica

Os principais ensaios de classificação mecânica, para elementos estruturais com peças roliças de madeira são: o ensaio estático (figura 2) e o ensaio pela técnica da vibração transversal (figura 3).

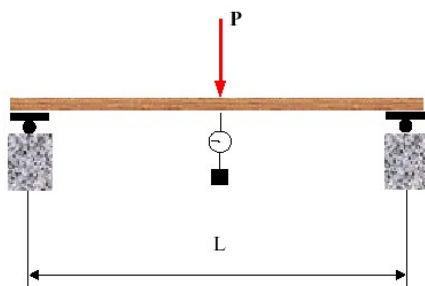
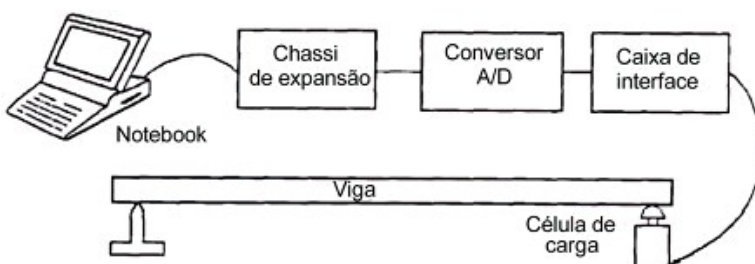


Figura 2 – Esquema estático do ensaio de peça roliça de madeira estrutural. Fonte: Foto do Autor, ensaios realizados no LaMEM em 2008.

Onde:

L é o comprimento entre apoios da peça, vão da peça (m)
 d_{eq} é o diâmetro equivalente da peça (m).



(a) esquema do ensaio pela técnica da vibração transversal



(b) Ensaios realizados no LaMEM.

Figura 3 – Esquema de um equipamento de vibração transversal. Fontes: (a) CARREIRA (2003); (b) Base de dados do LaMEM.

3.5 Durabilidade e classes de uso

Durabilidade da madeira é a propriedade de resistir, em maior ou menor grau, ao ataque de agentes destruidores, sob condição natural de uso, conforme descrito na NBR 8456:1984.

A classificação fornece uma ligação entre a madeira e sua esperada performance quando nova. Usualmente, espera-se bom desempenho sobre toda a vida do elemento estrutural. O elemento chave para esta previsão é sua durabilidade, definida como a capacidade de um produto manter seu desempenho acima de valores mínimos preestabelecidos, em consonância com os usuários, nas condições previstas de uso CALIL et al (2006).

O propósito do Sistema de Classes de Uso, proposto por BRAZOLIN et al (2004), é oferecer uma ferramenta simplificada para a tomada de decisões quanto ao uso racional e inteligente da madeira na construção civil, fornecendo uma abordagem sistêmica ao produto e usuário que garanta maior durabilidade das construções. O sistema consiste no estabelecimento de 6 Classes de Uso baseadas nas condições de exposição ou uso da madeira, na expectativa de desempenho do componente e nos possíveis agentes biodeterioradores presentes, tabela 1. Este sistema conduz a uma reflexão sobre as medidas que devem ser adotadas durante fase de elaboração de projeto de uma construção e auxilia na definição do tratamento preservativo da madeira (produto e processo) em função da condição de uso a que ela estará exposta.

Tabela 1 – Classes de uso de acordo com as condições de utilização da madeira na construção civil

CLASSE	CONDIÇÃO DE USO	ORGANISMO XILÓFAGO
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidas das intempéries, das fontes internas de umidade. Locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas	Cupins de madeira seca Brocas de madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade	Cupins de madeira seca Brocas de madeira Cupins subterrâneos/arborícolas
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e continuamente protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade	Cupins de madeira seca Brocas de madeira Cupins subterrâneos/arborícolas Fungos emboloradores/ manchadores/apodrecedores
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos a intempéries	Cupins de madeira seca Brocas de madeira Cupins subterrâneos/arborícolas Fungos emboloradores/ manchadores/ apodrecedores
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis a deterioração, como engaste em concreto e alvenaria	Cupins de madeira seca Brocas de madeira Cupins subterrâneos/ arborícolas Fungos emboloradores/ manchadores/apodrecedores
6	Exposição a água salgada ou salobra	Perfuradores marinhos Fungos emboloradores/ manchadores/apodrecedores

Fonte: CALIL et al (2006).

3.6 Principais sistemas estruturais e construtivos

A utilização de Peças Roliças de Madeira Tratada, como material para a construção civil apresenta inúmeras vantagens, por mais que ainda persista a equivocada idéia de que a madeira tem pequena vida útil. A resistência da madeira, o baixo peso, o baixo consumo energético para processamento, a sua disponibilidade e o seu relativamente fácil manuseio, fazem com que ela se torne um material altamente competitivo. Seu baixo peso traz um alívio às estruturas de fundações assim como sua resistência faz com que as estruturas sejam mais esbeltas. Ela é capaz de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos nocivos. Sua disponibilidade, baixo consumo energético e fácil manuseio fazem com que os custos sejam reduzidos, que seja desnecessário o emprego de mão-

de-obra altamente especializada e a execução da construção é efetivamente rápida. A figura 4 apresenta os principais tipos de sistemas estruturais utilizando peças roliças de madeira de reflorestamento, no Brasil e no exterior.



Figura 4 – Principais tipos de sistemas estruturais utilizando peças roliças de madeira de reflorestamento. (a) postes de eletrificação; (b) defensas; (c) barreiras acústicas; (d) muros de contenções de terra; (e) passarelas estaiadas; (f) pontes mistas de madeira roliça e concreto armado; (g) pontes compostas por vigas de madeira roliça; (h) edificações residenciais compostas por pórticos; (i) edificações compostas por painéis autoportantes; (j) galpões rurais ou industriais; (k) coberturas; (l) torres de observação. Fonte: BRITO (2010).

3.7 Principais tipos de ligações entre os elementos estruturais

Visando promover o uso mais eficiente das conexões entre os elementos estruturais de madeira roliça, ou ainda instigar na comunidade acadêmica, engenheiros, arquitetos, fabricantes e profissionais em geral de estruturas de madeira, são apresentados na figura 5 os principais tipos de ligações para estes elementos.



Figura 5 – Principais tipos de ligações entre os elementos estruturais: (a) entalhe; (b) cavilha de madeira; (c) barra rosqueada, arruelas e porcas; (d) barra rosqueada e pino metálico com rosca fêmea (Dowel-Nut); (e) chapas metálicas externas parafusadas; (f) chapa metálica interna parafusada; (g) consoles metálicos perfurados e parafusados; (h) chapas metálicas perfuradas e pregadas; (i) elementos metálicos especiais para treliças espaciais; (j) cinta metálica; (k) anéis metálicos, barras de aço, arruelas e porcas; (l) placa de base para fixação da coluna no bloco de fundação. Fonte: BRITO (2010).

4 RESULTADOS

Para o estudo proposto nesse trabalho foram inicialmente caracterizados todos os materiais envolvidos em ensaios com Peças Roliças de Madeira de Reflorestamento, em especial espécies de eucaliptos e pinus, realizados no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira (LaMEM). Diante de critérios de caracterização para a determinação das propriedades físicas, de resistência e rigidez das peças roliças de madeira, foi elaborada a tabela 2, especificando os valores médios destas propriedades de algumas espécies de Madeira Roliça de Reflorestamento, para o dimensionamento de elementos estruturais.

Tabela 2 – Valores médios de resistência e rigidez de algumas madeiras roliças de reflorestamento

Espécie da MRR ¹⁾	L (m)	d _m (cm)	ρ _{12%} (kg/m ³)	f _{c0} (MPa)	f _v (MPa)	E _{c0} (MPa)	MOE (MPa)	MOR (MPa)	¹⁰⁾ n
Eucalipto Alba	-	7	768	50,46	-	17549	-	-	42
Eucalipto Alba	2,5	7,5	1022	-	-	-	13690	89	25
Eucalipto Citriodora	4,5	7	840	-	-	-	18620	-	66
Eucalipto Citriodora	6,01	26,4	1016	-	-	-	19116	107	25
Eucalipto Citriodora	11,4	34,3	1087	-	-	-	23487	-	23
Pinus Oocarpa	6,25	42	653	-	-	-	8151	46	12
E. Cloenziana SAF75x74 13anos	2,06	13	905	44,75	11,78	14130	24660	125	6
E. Camaldulensis SAF76 20anos	2,02	22,6	1153	46,82	15,48	16043	15820	85	6
E. Camaldulensis SAF97 11anos	2,01	23	660	34,08	8,4	15459	12310	81	6
E. Camaldulensis SAF99 4anos	2,01	19,8	583	33,53	11,04	16231	15270	83	6
E. Camaldulensis SAF2003 5anos	2,02	19,6	540	24,62	7,98	13522	10960	65	6
E. Camaldulensis SAF2004 4anos	2,06	13,3	500	27,62	7,66	12729	14460	70	6
E. Camaldulensis SAF2004 4anos	2,03	13,3	495	25,66	6,86	10731	13200	69	6

Fonte: Tabela elaborada pelo autor, conforme ensaios realizados no LaMEM.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados dos ensaios dos critérios de classificação e caracterização para a determinação das propriedades físicas, de resistência e rigidez das peças roliças de madeira de reflorestamento de algumas espécies de Eucaliptos e Pinus realizados no Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira (LaMEM), foi elaborada a tabela 2, especificando os valores médios destas propriedades, que podem ser utilizadas para o dimensionamento de elementos estruturais.

Com base nesta pesquisa e com a coletânea de informações técnicas sobre sistemas estruturais e construtivos utilizando peças roliças de madeira tratada, possibilitou que este trabalho seja compilado para o “Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento”, com objetivo de oferecer a estudantes e profissionais das áreas de Engenharia Civil e Arquitetura, informações tecnológicas de diversos sistemas estruturais e sugestões de tipos de ligações entre elementos estruturais, incluindo tabelas práticas de pré-dimensionamento.

A utilização de peças roliças de madeira, oriundas de reflorestamento, mostrou ser uma ótima alternativa em sistemas estruturais na construção civil no Brasil, podendo contribuir com a questão da sustentabilidade, ambiental, social e econômica.

6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Montana Química, pelo apoio financeiro, sem o qual esta pesquisa não poderia ter sido realizada.

7 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8456**: postes de eucalipto preservado p/ redes de distribuição de energia elétrica – Especificação. Rio de Janeiro, 1984.
- BRAZOLIN, S.; LANA, L. E.; MONTEIRO, M. B. B; LOPEZ, G. A. C.; PLETZ, E. Preservação de madeiras – sistema de classe de risco. **Revista Madeira: arquitetura e engenharia**, v. 5, n. 13, mai/ago., 2004. CD-ROM.
- BRITO, L. D. (2010). **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.
- CALIL JR., C.; DIAS, A. A. *et al.* **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 2006. 252p. ISBN: 85-98156-19-1.
- CARREIRA, M. R. **Critérios para classificação visual de peças estruturais de Pinus SP**. 179 p. Dissertação (Mestrado). – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- HELLMEISTER, J. **Pontes de eucalipto Citriodora**. 85p. Tese (Livre docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1978.
- HELLMEISTER, J. Pontes de eucalipto Citriodora . In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRAS E DAS ESTRUTURAS DE MADEIRA EBRAMEM 1. **Anais**, São Carlos.

HOLZ, A. **Timber Engineering**. Step Eurofortech — EU Comett Programme. 1. ed. Centrum Hout. Netherlands, v.2, Roundwood structures, E19, 1995.

MATTHIESEN, J. A. **Contribuição ao estudo das pontes de eucalipto citriodora**. 220p. Tese. – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1987.

NATTERER, J. **Construire en Bois 2**. Press Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, Suisse, 1998.

PARTEL, P. M. P. **Sistemas estruturais e construtivos utilizando madeira roliça de reflorestamento**. 180 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

RANTA-MAUNUS, A. **Round small-diameter Timber for Construction**. Final Report of Project FAIR CT95-0091. Espoo 1999, Technical Research Centre of Finland, VTT Publications P383, 1999.

STEP. Timber Engineering. **Design – Details and structural systems**. Centrum Hout, The Netherlands, 1995. v. 2.

8 ANEXO

Este anexo tem por finalidade apresentar diversos exemplos de projetos e construções de estruturas com peças roliças de madeira, na grande maioria proveniente de reflorestamento.

Detalhes construtivos da Ponte 01:



Instalação dos conectores de aço CA50 Φ 12,5 mm colados c/ adesivo epóxi, em "X", Nas peças de madeira roliça que compõem as longarinas do tabuleiro.



Conectores e malhas de aço, instalados sobre a estrutura de madeira do tabuleiro.



Tabuleiro da ponte, concretado.



Vista lateral da ponte.



Vista inferior do tabuleiro.

PONTE 01 – CAMPUS II USP



Localização: Campus II, USP, São Carlos, SP
 Coordenadas GPS 21° 59' 57,9" S 47° 55' 44,7" W, altitude 834m
 Classe da ponte: TB 30
 Sistema estrutural: misto madeira roliça e concreto armado
 Geometria: esconsa 15°
 Número de vigas: 22 longarinas roliças
 Diâmetro médio: Φ 33 cm
 Concreto: fck 25 MPa
 Conectores: aço CA50 Φ 12,5 mm colados c/ adesivo epóxi, em "X" espaçamento de 25cm nas extremidades e 50cm no centro
 Largura: 10,0 m
 Comprimento: 12,0 m
 Elementos Estruturais: Madeira Rloíça de Eucalipto Citriodora
 Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.
 Fundações: estacas, blocos e viga de distribuição em concreto armado



Vista da Ponte 01 concluída.

Fonte CALIL et al (2006).

PONTE 02 – CAMPUS II USP



Localização: Campus II, USP, São Carlos, SP
 Coordenadas GPS 21° 59' 58,4" S 47° 55' 44,0" W, altitude 833 m
 Classe da ponte: TB 30
 Sist. Est.: misto madeira roliça protendida e concreto armado
 Geometria: esconsa 15°
 Número de vigas: 22 longarinas roliças
 Diâmetro médio: Φ 35 cm
 Concreto: fck 25 MPa
 Conectores: aço CA50 Φ 12,5mm colados c/ adesivo epóxi em "X", espaçamento de 25cm nas extremidades e 50cm no centro
 Largura: 10,0 m
 Comprimento: 12,0 m
 Elementos Estruturais: Madeira Rloíça de Eucalipto Citriodora
 Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.
 Fundações: estacas, blocos e viga de distribuição em concreto armado



Vista da Ponte 02 concluída.

Fonte: CALIL Jr., C. et al., 2006.

Detalhes construtivos da Ponte 02:



Instalação dos conectores de aço CA50 Φ 12,5 mm colados c/ adesivo epóxi, em "X", Nas peças de madeira roliça que compõem as longarinas do tabuleiro.



Conectores e malhas de aço, instalados sobre a estrutura de madeira do tabuleiro.



Preparo para a concretagem.




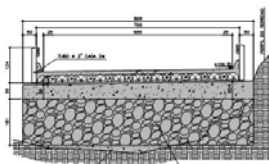
Concretagem do tabuleiro.



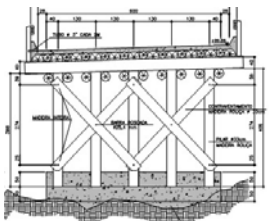
Vista inferior do tabuleiro. Tiras de compensado servem como forma, para estanquear o concreto.

PONTE CAMINHO DO MAR

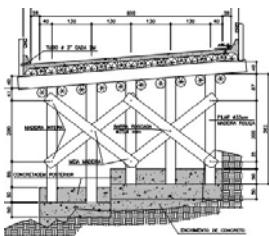
 Localização: Cubatão, SP
 Coordenadas GPS S 23° 51' 26,2" e W 46° 26'34,7", altitude 265m
 Classe da ponte: TB 30
 Sistema estrutural: misto madeira roliça e concreto armado
 Geometria: esconsa
 Número de vigas: 16 longarinas roliças
 Diâmetro médio: 33 cm
 Concreto: fck 25 MPa
 Conectores: aço CA50 Φ 12,5mm colados c/ adesivo epóxi em "X", espaçamento de 25cm nas extremidades e 50cm no centro
 Largura: 7,2 m
 Comprimento: 24,0 m (6,0 + 12,0 + 6,0)
 Elementos Estruturais: Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora
 Tratamento: impregnação de CCA em autoclave
 Fundações: pilares de madeira e bloco de concreto armado



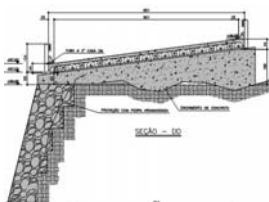
Seção A.A.: Muro de contenção com pedra argamassada, na cota +100,35, mais alta da ponte.



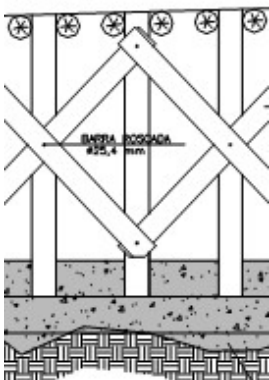
Seção B.B.: Sistema de contraventamento na primeira fila das colunas de seção composta dupla (cota 99,86).



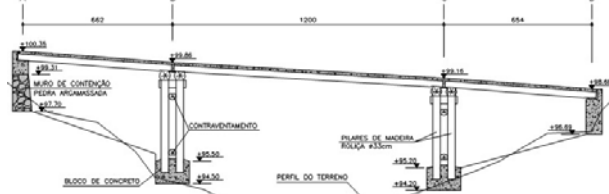
Seção C.C.: Sistema de contraventamento na segunda fila das colunas de seção composta dupla (cota 99,16).



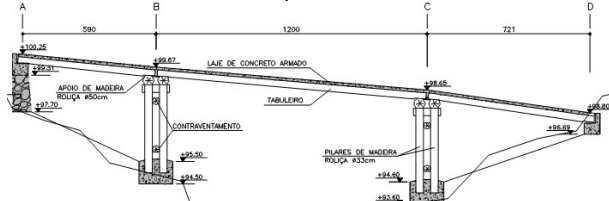
Seção A.A.: Muro de contenção com pedra argamassada, na cota +98,68 mais baixa da ponte.



Ligação dos contravent. c/ barras roscada Φ 25,4 mm.



Perfil do tabuleiro para o lado da encosta.



Perfil do tabuleiro para o lado do vale.



Vista superior do tabuleiro com os conectores metálicos



Vista da Ponte Caminho do Mar

Fonte: CALIL Jr., C. et al. 2006.



Prova de carga na lateral direita



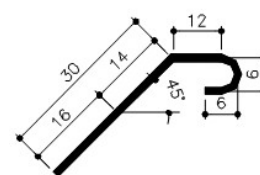
Prova de carga na lateral esquerda



Vista lateral

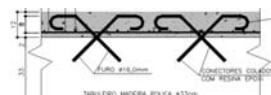


Vista inferior do tabuleiro



N2 3750 Φ 12,5 C=54cm
 GALVANIZADO A FOGO

Detalhe do Conector de Aço CA50 Φ 12,5mm



Detalhe de fixação dos conectores nas peças de madeira roliça, no tabuleiro.

PASSARELA ESTAIADA LaMEM



Local: LaMEM, EESC, USP, São Carlos, SP
 Projeto: Tese de doutorado de Everaldo Pletz - 2003
 Vão aproximado: 32,51 metros

Sistema Estrutural: Passarela estaiada com tabuleiro de pinus em madeira laminada protendida em módulos curvos, sustentada por um poste de eucalipto citriodora de 13 metros de altura, e aproximadamente 30kN, propositalmente inclinado. Primeira passarela de madeira em curva protendida e estaiada da América Latina.

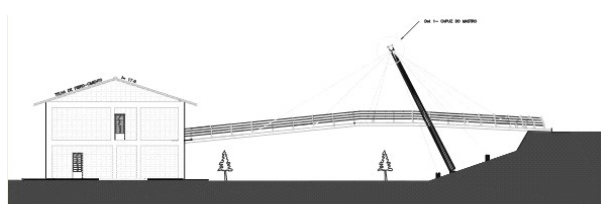
Diâmetro da base do poste: 55cm

Diâmetro do Topo do poste: 45cm

Ligações: Os estaios são constituídos de barras de aço galvanizadas com $\Phi 32\text{mm}$ (Dywidag) e ganchos metálicos, para sustentação do tabuleiro, unindo o topo do poste às vigas transversinas de aço.

Tratamento: poste de eucalipto e madeiras serradas de pinus tratadas por impregnação de CAA em autoclave, e proteção superficial pintadas com stain.

Uso: Passarela para travessia de acesso do LaMEM para a edificação do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET) da EESC – USP. Classe da passarela: sobrecarga de 5kN/m^2 .



Detalhes do projeto estrutural da passarela. Fonte: PLETZ (2003).



Maquette da passarela

Procedimento de instalação do poste (mastro da passarela).



Conexão do topo do poste (capuz).



Placa de base articulada.



Parte da placa de base instalada na base do poste (Mastro).



Içamento do Poste.



Posicionamento da base do poste na placa de base de aço articulada, chumbada no bloco de fundação.



a) Ligação dos estaios no topo do poste



b) Placa de base do poste



Vista da Passarela em curva protendida e estaiada.

Fonte: PLETZ, 2003.



Detalhe da placa de base p/ sustentação do estal do poste.



Aplicando protensão nos módulos do tabuleiro.



Cimbramento metálico.



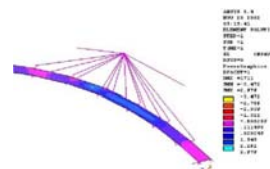
Instalação dos módulos do tabuleiro.



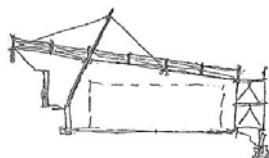
Colocação dos estaios.



Prova de carga c/ piscinas.



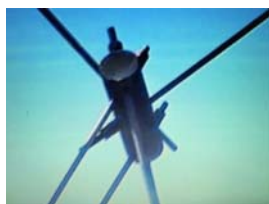
Análise Estrutural (ANSYS).



Proj. Arquitetônico Vallorbe



Contraventamento do pórtico.



Esticador do contraventamento.



Barras de aço (estais).



Placa de fixação dos estais.



Vista frontal da placa de base de fixação dos estais.



Vista lateral da placa de base de fixação dos estais.

PASSARELA ESTAIADA VALLORBE

Localização: Vallorbe, Suíça

Projeto: Julius Natterer, Construir em Bois 2, em 1989.

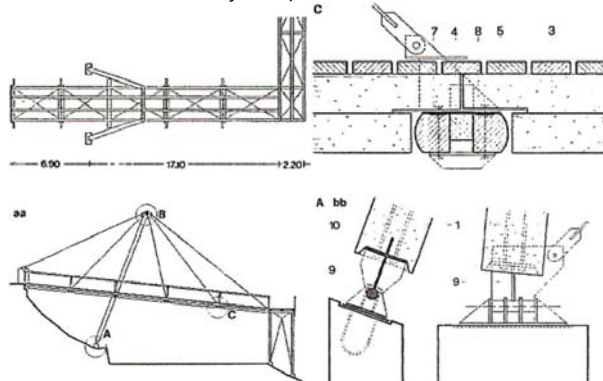
Sistema Estrutural: Passarela Estaiada. As vigas longitudinais do tabuleiro são compostas de duas madeiras roliças aplainadas nas duas faces. O sistema portante da passarela consiste em cinco quadros com dois apoios suspensos em dois pilares inclinados formando o pórtico de sustentação dos estais. Os contraventamentos em cruz dispostos na parte superior e inferior do tabuleiro estabilizam a torre transversalmente. Os contraventamentos horizontais sob o tabuleiro garantem a estabilidade do mesmo.

Comprimento: rampa de acesso com 35,0m

Vão: 24,0m

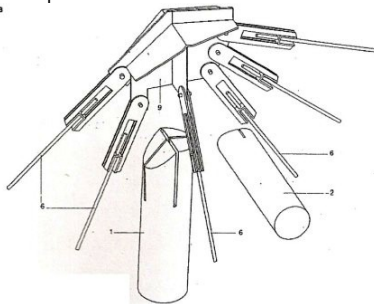
Ligações: Barras de aço galvanizadas com $\Phi 10\text{mm}$ e ganchos metálicos.

Tratamento: Madeiras roliças de pinus tratadas em autoclave



Legenda:

- 1- Peças de Madeira Roliça $\Phi 36\text{cm}$
- 2- Peças de Madeira Roliça $\Phi 30\text{cm}$
- 3- Duas Peças de Madeira Roliça $\Phi 24\text{cm}$
- 4- Seções de Madeira serrada 12/14-28
- 5- Pranchas de Piso 6/20
- 6- Barras de aço galvanizado
- 7- Suporte metálico com 5mm de espessura
- 8- grampos metálicos
- 9- Placas de base em aço galvanizado 15mm
- 10- Barra metálica parafusada



Placa de fixação dos estais (capuz). Fonte: NATTERER (1998).



Passarela Estaiada Vallorbe.

Fonte: Base dados LaMEM.



Vista da rampa da Passarela Estaiada



Bases e colunas do pórtico de sustentação dos estais.



Placa de base de uma das colunas do pórtico .



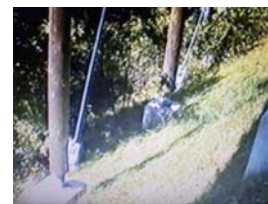
Vista inferior do tabuleiro.



Contraventamentos horizontais e verticais.



Ligações vigas-coluna da rampa de acesso.



Bases das colunas da rampa de acesso.

EDIFICAÇÃO COMERCIAL ESCRITÓRIO DA UPM TRAMASUL



Localização: Indubrasil, Campo Grande, MS

Utilização: edificação de escritório comercial

Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense (2010)

Sistema estrutural: Viga-coluna inclinada e escoras inclinadas definitivas (mãos francesas tridimensionais) da estrutura da cobertura.
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto Citriodora.

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com barras rosqueadas passantes (aço $\Phi 10\text{mm}$ e $\Phi 12,5\text{mm}$), inseridas nos elementos estruturais vigas-coluna, fixadas com arruelas e porcas.

Fundações: Colunas engastadas diretamente em Blocos de Concreto Armado.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Acabamento e proteção externa das peças roliças: Osmocolor Stain da Montana Química S.A.

Dados: enviados via e-mail pelo autor do projeto em abril de 2010



Vista lateral esquerda.



Fachada envidraçada.



Vigas com seção composta dupla, fixadas nas colunas, com barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas.



Vista lateral direita.
Balanços reforçados com tirantes como suspensão.



Vista interna do escritório.
À direita escoras inclinadas definitivas (mãos francesas tridimensionais), sustentam a estrutura da cobertura do escritório.



Fase final da construção.



Fachada principal em fase final de construção.



Pérgolas em balanço, sobre a área de estacionamento.



Fachada concluída.



Lavatório do banheiro.



Escoras inclinadas (Mãos Francesas), escoram a estrutura da cobertura interna do escritório.



Detalhe das conexões das escoras inclinadas (Mãos Francesas tridimensionais), fixadas c/ barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas.



Lixamento dos elementos estruturais de madeira roliça. Preparo para aplicação de Osmocolor Stain da Montana Química.



Sistema de instalação dos vidros da fachada com sarrafos fixados nas peças roliças.



Barras de aço da viga baldrame, inseridas nas bases das colunas.

Fonte: Fotos do autor do projeto, 2010.

Detalhes da estrutura do galpão de dois pavimentos do ateliê de artista plástico.



Ligação viga inclinada-coluna de canto, cobertura do pórtico.



Conectores de chapas metálicas galvanizadas perfuradas, para ligações com pregos, em galpões tipo pórtico, com madeira roliça.



Ligação viga-coluna do pavineto superior.



Pavimento superior, colunas de canto e intermediária.



Treças da cobertura com madeira roliça de eucalipto.



Cobertura da varanda.

ATELIÊ DE ARTISTA PLÁSTICO



Localização: Carandá, Campo Grande, MS.

Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense (1998)

Sistema estrutural: Galpão tipo pórtico com vigas inclinadas

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Conectores de chapas metálicas galvanizadas perfuradas, para ligações com pregos, em madeira roliça.

Fechamentos: Alvenarias com tijolos cerâmicos maciços e pedras.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009



Fachada da edificação do sobrado do ateliê de artista plástico.

Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.

EDIFICAÇÃO DE CLÍNICA VETERINÁRIA



Localização: Carandá, Campo Grande, MS.

Projeto: Arquiteto André Costa (2002)

Sistema estrutural: viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009



Fachada principal da clínica veterinária.

Fonte: Fotos do autor, abr. 2009.

Detalhes da estrutura da edificação de clínica veterinária.



Treças da cobertura com vigas de madeira serrada.



Colunas de canto e intermediária.



Conexão viga-coluna, viga apoiada no topo da coluna e interligada com pino metálico de vergalhão de aço CA50.



Muro com madeira roliça.

Det. da estrutura da edificação comercial de boutique.



Estrutura de parte da cobertura da sala social. Detalhe do vidro na cobertura para entrada de iluminação natural.



Conexão das vigas c/ a coluna do canto direito da edificação. Viga principal apoiada sobre o entalhe no topo da coluna e fixada com pinos metálicos de vergalhões de Aço CA50.



Furação para a confecção da ligação por entalhe, para encaixe da viga de madeira roliça, no topo da coluna.



Confecção do entalhe, para encaixe da viga de madeira roliça, no topo da coluna.



Instalação do pino metálico, inserido transversalmente, nos elementos estruturais.

EDIFICAÇÃO COMERCIAL DE BOUTIQUE



Localização: Jardim dos Estados, Campo Grande, MS.

Projeto: Arquiteto Artur Pérez (2002)

Sistema estrutural: Viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligação: entalhes na madeira e pinos metálicos, unindo os elementos estruturais.

Fundação: Colunas engastadas nas fundações.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009



Fachada principal de edificação comercial para boutique.
Fonte: Fotos do Autor em abril de 2009.

EDIFICAÇÃO DE ESTANDE ASA-DELTA



Local: Parque de Expo. Laucídio Coelho, Campo Grande, MS

Utilização: Edificação de estande para exposições de produtos

Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense (2007)

Sistema estrutural: tipo asa-delta, com vigas inclinadas e colunas

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto

Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligação: Barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, inseridas transversalmente nos elementos estruturais, unindo às vigas às colunas.

Fundação: Colunas engastadas nas fundações.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009



Fachada da edificação do estande para exposições de produtos.

Fonte: Fotos do autor, abr. 2009.

Det. da estrutura da asa-delta.



Topo da cobertura



Estrutura da cobertura c/ duas vigas inclinadas principais, e doze vigas inclinadas dispostas em forma de escama de peixe.



Conexões na ligação das duas vigas inclinadas principais, no topo da cobertura, junto ao topo das duas colunas.



Vista lateral da ligação das vigas intermediárias de travamento, com às colunas.



Vista frontal da ligação das vigas intermediárias de travamento, com às colunas.



Ligações com barras rosqueadas passantes, Arruelas e porcas.

EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL CARANDÁ 3



Localização: Carandá 3, Campo Grande – MS
Utilização: edificação residencial, sobrado de dois pavimentos
Projeto: Arquiteto Dennis Michael Deffense (2005)

Sistema estrutural: Viga-coluna

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de Eucalipto
Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira e fixação com pinos metálicos inseridos nos elementos estruturais viga-coluna.

Fundações: Blocos em Concreto Armado sobre estacas escavadas.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Fornecedor da madeira: TRAMASUL

Dados: coletados pelo autor em visita técnica em abril de 2009



Conexão de uma das colunas intermediárias, da varanda.



Conexão de uma das colunas centrais, da varanda.



Conexão da coluna de canto da varanda à frente.



Conexão da coluna de canto da varanda na lateral esquerda.



Conexão da coluna intermediária, da varanda com a sala social, na lateral esquerda.



Conexão de uma das colunas centrais, da varanda com a sala social.



Vista geral da edificação e jardim no quintal.



Fachada da varanda e porta de acesso à sala social.



Vidro na cobertura para entrada de iluminação natural. Estrutura da cobertura da sala social.

Fonte: Fotos do autor, abr. 2009.



Estrutura da cobertura do hall de entrada principal. Forro com chapas de OSB.



Estrutura da cobertura sobre a escada.



Estrutura da cobertura da sala social, e conexões viga-coluna, pé-direito duplo.



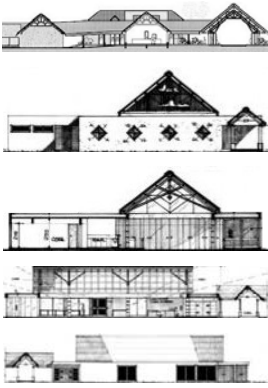
Colunas intermediárias e de canto da sala social.





Patamar da escada.



Parte da fachada frontal.



hotel club med trancoso

  Local: Praia do Trancoso, Porto Seguro, Litoral Sul da Bahia.
 Projeto: Afialo & Gasperini Arquitetura (2003)
 Cálculo Estrutura de Madeira: Callia Estruturas de Madeira
 Madeira: esp. de eucaliptos (citriodora, cloeziana, grandis e urophylla).
 Ligação: Entalhes e barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, inseridas transversalmente nos elementos estruturais, unindo às barras das treliças às colunas. Chapas de aço externas unindo os nós das treliças. Também foram utilizadas chapas de aço internas.
 Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.
 Fornecimento e Execução das Estruturas: TORA LOG HOMES
 As estruturas são compostas p/ peças roliças c/ diferentes diâmetros.



Pórtico Rígido e Vigas inclinadas em treliças.

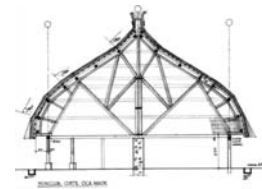


Pórtico rígido e treliças scissors.



Estrutura de galpão e cobertura de treliças espaciais.

Fontes: www.callia.com.br
 PROJETO DESIGN, Ed. 285, nov. 2003.



EDIFICAÇÕES DO PARQUE AMBIENTAL ALCOA – POÇOS DE CALDAS



Localização: Poços de Caldas, MG

Utilização: edificações do Parque Ambiental ALCOA–Poços de Caldas

Projeto Arquitetônico: Arq. Marcio José Ferraz da Silva (1993)

Responsável técnico: Eng. Luiz Moretti (1993)

Sistemas estruturais: grelhas; viga-coluna; pórticos

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça, Eucalipto Citriodora
Diâmetros médios: 20 cm a 30 cm

Ligações: Entalhes na madeira, conexões metálicas tipo console, conexões com chapas metálicas externas, conexões em laço, e fixação com barras de aço passantes, arruelas e porcas, inseridas nos elementos estruturais de madeira roliça.

Fundações: engastamento direto em blocos de concreto.

Tratamento: Impregnação de CCA em autoclave.

Dados: coletados pelo autor, com o idealizador do projeto Don Duane Williams, e com o coordenador do projeto Paulo Fernando Junqueira, em visita técnica em abril de 2010.



Grelha que compõe a estrutura do piso do Pavilhão Don Duane Willian.



Peças roliças da grelha que compõem a estrutura do piso, apoiadas sobre às vigas secundárias, que transferem às cargas verticais para as vigas principais e estas para as colunas.



Vista das conexões com chapas externas, parafusadas com barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, unindo às vigas secundárias às vigas principais.



Detalhes das vigas fixadas na coluna central.



Conexões metálicas tipo consoles, que unem as vigas principais, da estrutura de grelha do piso, à coluna central.



Vista do Pavilhão Don Duane Williams (10mx10m).



Vista do Pavilhão da Biblioteca (10mx10m).



Conexões metálicas tipo consoles, que unem as vigas da estrutura da cobertura à coluna central.



Detalhe da coluna de canto.



Detalhe das conexões metálicas tipo consoles, parafusadas com barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas, que unem as vigas da estrutura do piso à coluna de canto.




Estrutura da passarela externa.



Emenda da coluna do guarda corpo.

Fonte: Fotos do autor, abr. 2010.

COBERTURA DE TRELIÇA ESPACIAL SOLAR CANOPY

 Localização: Parque Centro da Terra, **Doncaster, Inglaterra.**

Utilização: modelo de cobertura para suporte de células fotovoltaicas, apoiado sobre uma estrutura de treliça espacial de madeira roliça que foi projetado como uma estrutura de árvore abstrata para parecer uma floresta. A geração da energia solar deste projeto de pesquisa produz energia elétrica suficiente para fornecimento de 42 casas.

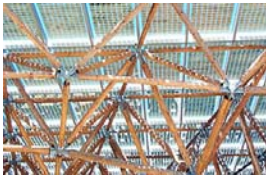
Projeto: Feilden Clegg Bradley Architects.

Sistema estrutural: treliça espacial tipo árvore.

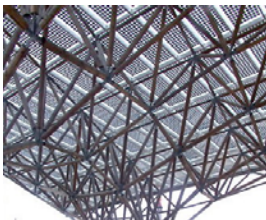
Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça de pequeno diâmetro
Ligações: conexões metálicas especiais para estruturas de treliças espaciais e fixação com pinos metálicos.



Processo de montagem da cobertura de treliça espacial.



Vista inferior da estrutura da treliça espacial.



Vista inferior da cobertura, ao lado esquerdo da edificação.



Detalhe do contraventamento da estrutura de apoio da cobertura, com 4 colunas inclinadas em V, situada ao lado esquerdo da edificação.



Detalhe da placa de base metálica, com parafusos passantes, arruelas e porcas.



Vista frontal da estrutura completa.



Detalhe da estrutura da treliça espacial com peças roliças de pequeno diâmetro, e das conexões metálicas especiais.



Estrutura de apoio da cobertura, com 4 colunas inclinadas em V, situada ao lado esquerdo da edificação.

Fonte: www.carpenteroakandwoodland.com.



Detalhe da estrutura de treliça espacial da cobertura, fixada no topo da coluna de concreto armado, situada ao lado direito da edificação.



Vista inferior da estrutura de treliça espacial da cobertura, fixada no topo da coluna de concreto armado, situada ao lado direito da edificação.



Detalhe das conexões da treliça espacial.

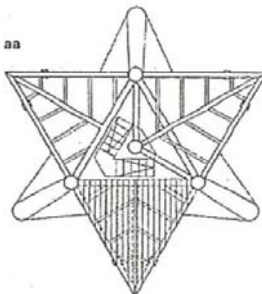
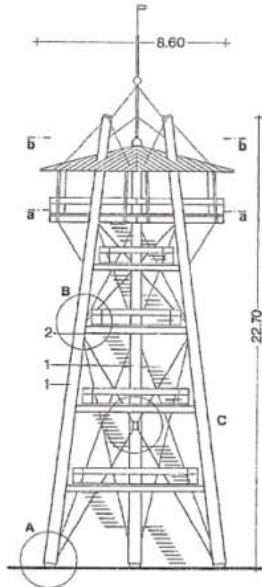


Nó da treliça espacial da cobertura. Detalhe de uma conexão metálica, com parafusos passantes, arruelas e porcas.

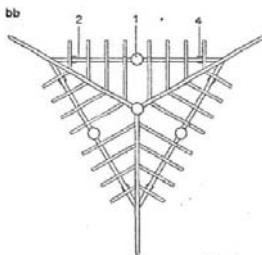


Vista da estrutura completa.

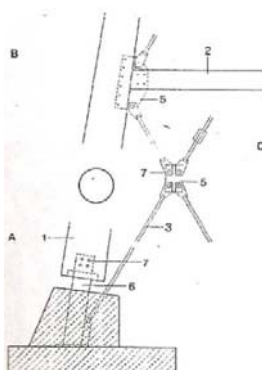
Detalhes do Projeto Estrutural



Estrutura do Patamar Principal



Estrutura da cobertura



- 1 COLUNAS DE MRR 65 À 50cm
- 2 VIGAS HORIZONTAIS 20x30cm
- 3 DIAGONAIS TENSIONADAS 42 À 27
- 4 DISPOSITIVO DE SUSPENSÃO 6x22
- 5 CHAPA METÁLICA 20 A 15mm
- 6 TUBO METÁLICO Φ 267mm
- 7 PARAFUSOS 20 X 45

Fonte: NATTERER (1998)

TORRE DE SCHAUINSLAND

Localização: Fribourg, Dinamarca

Utilização: edificação de torre de observação para ponto turístico

Projeto Arquitetônico: Hochbauamt - 1981

Projeto Estrutural: W. Hirzle

Sistema estrutural: Torre de triângulo equilátero de base, decrescente em direção ao alto. Plataforma triangular panorâmica. Quatro Colunas de Madeira Roliça, sendo que as três das extremidades são inclinadas em forma de tripé. Contraventamentos com vigas de madeira serrada, horizontais resistentes à compressão e a tração e diagonais com cabos de aço resistentes à tração, para estabilizar a torre. Parte da carga da escada é absorvida pela coluna de madeira roliça central.

Elementos Estruturais: Peças de Madeira Roliça Douglas-fir impregnados em auto clave.

Ligações: Todas as conexões foram realizadas com chapas de aço e parafusos galvanizados.



Vista da Torre de Schauinsland.



Ligações de Vigas Horizontais com a coluna.

Fonte: www.flickr.com/photos/tiltwe/219004928.



Vista inferior do patamar Principal.



Coluna central que suporta parte do carga da escada.



Colunas nas placas de base e nos blocos de fundações.



Detalhe do bloco de fundação com fixação da placa de base da coluna

