UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ARQUITETURA E URBANISMO
Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo

Dissertação de Mestrado:

**CROSS LAMINATED TIMBER: DIRETRIZES PARA PROJETO DE
PAINEL MACIÇO EM MADEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

RAFAEL NOVAIS PASSARELLI
SÃO CARLOS, JUNHO DE 2013

**CROSS LAMINATED TIMBER: DIRETRIZES PARA PROJETO DE
PAINEL MACIÇO EM MADEIRA NO ESTADO DE SÃO PAULO.**

Dissertação apresentada no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Arquitetura.

Área de concentração: Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia.

ALUNO: RAFAEL NOVAIS PASSARELLI
ORIENTADORA: PROF^A. DR^A. AKEMI INO
SÃO CARLOS JUNHO DE 2013

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

P286c Passarelli, Rafael Novais
Cross laminated timber: Diretrizes para projeto de
painel maciço em madeira no Estado de São Paulo /
Rafael Novais Passarelli; orientador Profa. Dra. Akemi
Ino . São Carlos, 2013.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação
em Arquitetura e Urbanismo e Área de Concentração em
Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia -- Instituto de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo,
2013.

1. Habitação em madeira. 2. Pré-fabricação em
madeira. 3. Pannel de madeira. 4. Projeto em madeira.
5. Madeira laminada. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Arquiteto e Urbanista Rafael Novais Passarelli.

Título da dissertação: "Cross Laminated timber: diretrizes para projeto de painel maciço em madeira no Estado de São Paulo".

Data da defesa: 04/07/2013.

Comissão Julgadora:

Profa. Associada **Akemi Ino (orientadora)**
(Instituto de Arquitetura e Urbanismo - IAU/USP)

Prof. Titular **Carlito Calil Junior**
(Escola de Engenharia de São Carlos - SET/EESC/ USP)

Prof. Dr. **Ivan Manoel Rezende do Valle**
(Universidade de Brasília - UnB)

Resultado:

Presidente e Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura Urbanismo: Professor Titular **Renato Luiz Sobral Anelli**

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao Grupo de Pesquisa sobre Habitação e Sustentabilidade (HABIS) do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP) e à Prof^ª. Dr^ª. Akemi Ino pelo espaço para discussão sobre um tema ainda pouco estudado no Brasil dentro campo da tecnologia construtiva em madeira.

Agradeço também ao *Institute for Structural Design and Timber Engineering* da *Vienna University of Technology* (ITI-TUWIEN), em especial ao Prof. DDI. Wolfgang Winter e Prof. Gerulf Webber, que me forneceram as condições para estudo do CLT austríaco.

Por fim, gostaria de agradecer ao financiamento da bolsa CAPES do Programa de Pós-graduação do Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP)

ACKNOWLEDGEMENTS

The author gratefully acknowledges the Housing and Sustainability Research Group (HABIS) from the Institute of Architecture and Urbanism - University of São Paulo (IAU-USP), in particular to Prof. Dr. Akemi Ino by providing a space for discussing a subject that is still little studied in Brazil, inside the field of timber building technology.

The author is also grateful to the Institute for Structural Design and Timber Engineering from Vienna University of Technology (ITI-TUWIEN), in particular to Prof. DDI. Wolfgang Winter and Prof. Gerulf Webber, whom provided all the conditions for studying Austrian CLT.

Finally, the author acknowledges the financial support provided by CAPES Post-graduation program scholarship during the research.

RESUMO

O trabalho tem o objetivo de estabelecer diretrizes para projeto de painel maciço em madeira utilizando o princípio da laminação cruzada de modo similar ao Cross Laminated Timber (CLT), porém adequado ao setor madeireiro paulista. Não obstante, pretende-se contribuir para a difusão do conhecimento sobre sistemas construtivos com painéis maciços e ampliar a discussão sobre possibilidades de utilização da madeira na habitação. Primeiramente, foi delimitado o escopo da pesquisa e justificados os motivos que levaram à sua proposição; também foram discutidos os principais fundamentos teóricos, conceituais e metodológicos nos quais se baseia o trabalho. A seguir, as principais características de diferentes tipos de painéis maciços de madeira utilizando o princípio da laminação cruzada foram pesquisadas. Foram levantadas informações sobre as características básicas e processo produtivo de 5 produtos diferentes: Mayr Melnhof Holz BSP, Novatop Solid, Massivholz Mauer, Holz 100 e Massiv Wand 5. Depois, foi desenvolvida uma análise comparativa entre o setor madeireiro na Áustria, país que atualmente concentra a maior produção de CLT na Europa Central, e no Estado de São Paulo, local no qual se pretende avaliar as possibilidades e limitações para produção dos painéis maciços em madeira. A análise comparativa foi dividida em duas etapas: na primeira etapa foram analisadas as reservas florestais e indústria madeireira austríaca e paulista; na segunda etapa foram elaboradas estimativas de custo para a produção de um elemento vertical constituído por núcleo maciço utilizando o princípio da laminação cruzada em Viena e na região metropolitana de São Paulo. Por fim, relacionando as características do produto e sua influência no processo produtivo com as possibilidades e limitações proporcionadas pelo setor madeireiro paulista, foram estabelecidas diretrizes para o projeto de um painel maciço em madeira que utilize o princípio da laminação cruzada. As diretrizes foram elaboradas dos pontos de vista da utilização da madeira, do desenho do painel e de sua adaptação ao setor madeireiro paulista. A seguir, foi desenvolvido uma proposta preliminar para desenho de painel maciço. As informações levantadas durante o desenvolvimento desta dissertação foram obtidas por meio de visita às fábricas, pesquisa em teses e publicações relacionadas e pesquisa na página de internet dos fabricantes dos produtos.

Palavras-chave: habitação em madeira, pré-fabricação em madeira, painel de madeira, projeto em madeira, madeira laminada.

ABSTRACT

The work aims to establish guidelines for cross laminated solid timber panel design, suitable to the forestry industry in São Paulo. It intendeds to contribute for knowledge diffusion about this building system and enhancing the discussion on timber construction in Brazil. First, the research's scope was explained as well as its main questions, hypothesis and objectives. Then, the main features of different types of cross laminated solid timber panels and it's production process were analysed. Information on the basic features and production process of five different products were gathered: Mayr Melnhof Holz BSP, Novatop Solid, Massivholz Mauer, Holz 100 and MassiveWand 5. Hereafter, a comparative analysis between the forestry industry in Austria, currently the largest cross laminated timber producer in Central Europe, and the State of São Paulo was developed. The analysis was divided into two stages: in the first stage, forest reserves and timber industry in Austria and in the State of São Paulo were investigated; in the second stage, cost estimates for the production of a solid timber vertical element in Vienna and in the metropolitan area of São Paulo were developed. Finally, all the information gathered previously was used in order to establish design guidelines for cross laminated solid timber panel relating product's design influence on the production process and the possibilities and limitations offered by the forestry industry in São Paulo. The guidelines were developed from the point of view of timber utilisation, panel design and its adaptation to São Paulo's forestry industry. Then, a preliminary solid wood panel proposal has been developed as a way to synthesise the guidelines set previously. Information for the research was obtained through factory visits, theses and related publications and research on the manufactures website.

Keywords: timber housing, timber pre-fabrication, timber panel, timber design, laminated timber.

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	1
1.1 Análise Crítica Da Realidade	2
1.2 Análise Da Literatura Científica	4
1.3 Pergunta De Pesquisa	11
1.4 Hipótese De Pesquisa	11
1.5 Objetivo De Pesquisa	13
1.6 Estratégia De Pesquisa	14
1.7 Referências	16
 2.0 REVISÃO DE ESTADO DA ARTE	 19
2.1 O CROSS LAMINATED TIMBER AUSTRIACO: ESTUDO DE CASO DA MAYR MELNHOF HOLZ.	21
2.1.1 Introdução E Justificativa	23
2.1.2 Objetivo De Pesquisa	23
2.1.3 Estratégia De Pesquisa	23
2.1.4 Visão Geral Do CLT	24
2.1.5 Estudo De Caso: Mayr Melhof Holz, Fábrica Em Gaishorn	30
2.1.6 Conclusão	35
2.1.7 Referências	38
 2.2 ALÉM DO CLT: VARIAÇÕES E OUTRAS POSSIBILIDADES PARA PAINÉIS MACIÇOS.	 41
2.2.1 Introdução E Justificativa	43
2.2.2 Objetivo De Pesquisa	44

2.2.3 Estratégia De Pesquisa	44
2.2.4 Novatop Solid	45
2.2.5 Massiv Holz Mauer	55
2.2.6 Holz100	62
2.2.7 Massiv Wand 5	69
2.2.8 Conclusão	78
2.2.9 Referências	81

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO DE ESTADO DA ARTE. 83

3.0 ANÁLISE COMPARATIVA 85

3.1 ANÁLISE COMPARATIVA DO SETOR MADEIREIRO: ÁUSTRIA X SÃO PAULO. 87

3.1.1 Introdução E Justificativa	89
3.1.2 Objetivo De Pesquisa	89
3.1.3 Estratégia De Pesquisa	90
3.1.4 Áustria	90
3.1.5 Estado De São Paulo	100
3.1.6 Conclusão	113
3.1.7 Referências	115

3.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS PARA FABRICAÇÃO DO ELEMENTO MW5 EM VIENA E NO ESTADO DE SÃO PAULO. 119

3.2.1 Introdução E Justificativa	121
3.2.2 Objetivo De Pesquisa	121
3.2.3 Estratégia De Pesquisa	121
3.2.4 Elemento MW5	122
3.2.5 Viena	123

3.2.6 São Paulo 127

3.2.7 Conclusão 132

3.2.8 Referências 133

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A ANÁLISE COMPARATIVA 135

4.0 DIRETRIZES E CONCLUSÃO 137

4.1 ESTABELECIMENTO DE DIRETRIZES PARA PROJETO DO PAINEL MACIÇO EM MADEIRA 139

4.1.1 Introdução E Justificativa 141

4.1.2 Objetivo De Pesquisa 141

4.1.3 Estratégia De Pesquisa 142

4.1.4 Diretrizes 142

4.1.5 Projeto Síntese 144

4.1.6 Conclusão 150

4.2 CONCLUSÃO DO TRABALHO 153

ANEXO 1 159

ÍNDICE REMISSIVO 165

1.0 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Resumo: o objetivo deste capítulo é delimitar o escopo do projeto de pesquisa a ser desenvolvido. Primeiramente, foram explicitados os motivos que levaram à proposição do trabalho, assim como os fundamentos teóricos, conceituais e metodológicos nos quais se baseia a pesquisa. Foram então expostos a pergunta, hipótese e objetivos principais da pesquisa, seguidos pela sua decomposição em perguntas, hipóteses e objetivos intermediários, visando estabelecer a estrutura básica da pesquisa. Por fim, foram descritos o método e a estratégia utilizados para alcançar o objetivo proposto e responder à pergunta principal de pesquisa. Ao final obteve-se uma estrutura de pesquisa dividida em duas partes: na primeira, foram levantadas informações sobre painéis que utilizam o princípio da laminação cruzada; na segunda, informações sobre o setor madeireiro na Áustria e Estado de São Paulo foram coletadas interpretadas por meio de análises comparativas. Levando em conta as informações coletadas, puderam ser estabelecidas as diretrizes para o projeto de painéis maciços.

Palavras-chave: déficit habitacional, produção de habitação, pré-fabricação em madeira, cross laminated timber, design for production.

Abstract: the purpose of this chapter is to define the scope of the research project to be developed. The reasons which led to the proposed work, as well as the theoretical, conceptual and methodological principles of the research will be explained. Then, the main question, hypothesis and the research objectives will be discussed, followed by their division into intermediate questions, hypotheses and objective, in order to establish a basic framework for the research. Finally, the method strategy used to achieve the proposed objective and answer the main research question are described. At the end, a two parts research strategy was delimited: first, information on different cross laminated timber panels was gathered; then, information on forestry sector from Austria and São Paulo was retrieved and analysed. Taking into account the collected information, massive panels design guidelines could be established.

Keywords: housing deficit, housing production, timber pre-fabrication, cross laminated timber, design for production.

1.1 ANÁLISE CRÍTICA DA REALIDADE

1.1.1 DÉFICIT HABITACIONAL EM SÃO PAULO

Segundo dados da Fundação João Pinheiro e do Ministério das Cidades (2010), o déficit habitacional no Brasil em 2008 era estimado em 5,572 milhões de domicílios. Uma parte substancial desse total encontrava-se na região Sudeste: 2.052.956 de domicílios ou 36,9%. Quase metade do déficit habitacional no sudeste originava-se no Estado de São Paulo, representando uma carência de 1.062.366 de domicílios ou 19% de todo déficit habitacional estimado no Brasil. Além disso, assim como no resto do país, o déficit habitacional paulista concentrava-se, sobretudo, nas faixas de renda familiar até 3 salários mínimos (84,5%) e de 3 até 5 cinco salários mínimos (11,1%), que juntas eram responsáveis por 96,6% do déficit habitacional do Estado.

Portanto, fica evidente que o problema de falta de moradias é crítico e afeta, quase que exclusivamente, camadas sociais de pior condição econômica e baixo poder de consumo. Por esse motivo, é importante o desenvolvimento de sistemas construtivos econômicos para produção em massa de habitação. Todavia, o problema não é apenas quantitativo mas também qualitativo. Ou seja, é fundamental que as moradias produzidas passem por um controle rigoroso de qualidade durante o projeto e construção, visando minimizar a ocorrência de defeitos e patologias que, dependendo da escala de produção, poderiam ser replicados por muitas unidades. Além disso, as construções devem apresentar elevada durabilidade com baixa demanda de manutenção após construídas, pois deve-se considerar que as famílias ocupantes destas moradias possuem poucos recursos e não poderiam realizar manutenção preventiva intensa em suas casas.

Assim sendo, o trabalho pretende analisar a possibilidade de produção de um componente construtivo econômico e durável, que possa ser utilizado também no campo da habitação popular.

1.1.2 BASE TÉCNICA DA CONSTRUÇÃO HABITACIONAL

A produção da habitação no Brasil está baseada em uma estrutura de ofícios, ou seja, organiza-se em torno de trabalhadores especializados que realizam tarefas parciais, empregando um saber fracionado do processo produtivo total (Farah, 1996). Em *O Capital*, Marx definiu tal estrutura de produção sob a denominação de manufatura orgânica, um modo no qual trabalhadores

de diversos ofícios autônomos executam individualmente fases sequenciais interligadas e gradativas até o acabamento final. Importante notar que cada etapa não resulta em um produto final, mas sim no ponto de partida para o trabalho do próximo trabalhador parcial; a totalidade do produto só é alcançada ao final do processo como expressão do trabalho coletivo, dada pela combinação dos muitos trabalhos parciais autônomos.

Na manufatura orgânica, o ofício (entendido como operação parcial) permanece como base técnica da produção e, tal qual no artesanato, depende em larga medida da força, habilidade, rapidez e segurança de cada trabalhador individual (Marx, 1996). Entretanto, como as diferentes funções englobadas pelo trabalho coletivo podem ser mais simples ou mais complexas, são exigidos diferentes graus de formação aos trabalhadores parciais que, conseqüentemente, serão remunerados de acordo com as diversas formações. Desse modo, a manufatura orgânica desenvolve uma hierarquia de trabalho, criando uma divisão básica entre trabalhadores qualificados e não-qualificados. Para os últimos, desaparecem os custos de formação e qualificação no ofício exercido; para os primeiros, reduzem-se os mesmos custos em comparação a um artífice completo, decorrente da divisão em maior número de tarefas parciais que resulta na simplificação do trabalho (Marx, 1996). Assim sendo, no sistema de ofícios da construção habitacional desenvolve-se uma estratégia de redução dos salários, própria da manufatura orgânica, que justifica a desqualificação e uso intensivo de mão-de-obra como suposto meio econômico de produção.

Contrário à essa suposição Bruna (1976) denunciou que os custos de produção da habitação dentro desse modelo são extremamente altos, impedindo que percentual significativo da população usufrua de uma moradia adequada, atendendo a todos os requisitos mínimos de habitabilidade (segurança estrutural, durabilidade, estanqueidade, segurança contra fogo, etc.). Segundo o autor citado, o emprego maciço de mão-de-obra desqualificada e de baixa remuneração é um dos motivos da pouca qualidade de execução, baixa produtividade e grande desperdício de material e tempo de trabalho nos canteiros, o que resulta em um custo elevado das construções.

Uma maneira para reverter essa situação seria efetuar grandes investimentos no processo de produção habitacional, introduzindo novas tecnologias e/ou sistemas construtivos que resultassem na modificação da base técnica da

manufatura orgânica para a maquinofatura (Farah, 1996). Na base técnica da maquinofatura os critérios de produção e controle de qualidade estariam desvinculados do trabalhador de ofício, orientando-se de acordo com critérios industriais de produção. Com isso seria possível reduzir o custo individual dos produtos por meio da produção em maior escala, reduzindo também a perda de material e tempo de trabalho.

Porém, como afirma Farah (1996), grandes investimentos que pudessem levar à transformação da base técnica são desestimulados pelo setor da construção, devido à condição de instabilidade econômica e descontinuidade política. Neste contexto, não há segurança de que os investimentos a serem efetuados no processo produtivo sejam amortizados, representando uma ameaça à sobrevivência da própria empresa.

Por esse motivo, empresas da construção civil tendem a minimizar investimentos na área tecnológica e de maquinaria. Assim, a introdução de novas tecnologias e/ou sistemas construtivos ocorre sempre de forma incremental, ou seja, adaptando-se à base técnica dos ofícios tradicionais. No entanto, apesar de não transformarem a base técnica da construção, essas modificações geram impacto e introduzem mudanças parciais no processo de trabalho. Um exemplo seria a pré-fabricação fora do canteiro de alguns elementos estruturais, como pilares ou vigas pré-moldados (Farah, 1996), adicionando valores de produtividade e controle de qualidade industrial, alterando parte do processo de construção e resultando na redução dos custos totais.

Os componentes construtivos estudados neste trabalho serão analisados do ponto de vista do potencial de adequação à um contexto produtivo com baixa disponibilidade para investimentos e dentro da estrutura de ofícios, todavia buscando minimizar a dependência de trabalho qualificado e agregando valores como pré-fabricação, produtividade, economia de escala visando a diminuição do custo individual das construções habitacionais.

1.2 ANÁLISE DA LITERATURA CIENTÍFICA

1.2.1 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS

Nas últimas décadas, devido à conscientização ambiental e popularização dos conceitos de construção sustentável no hemisfério norte, a utilização da madeira passou a ser incentivada, sobretudo como forma de reduzir

o impacto do setor da construção no meio ambiente (FPL, 2010; Kolb, 2008; Volz, 2008). Isso se deve ao fato da madeira ser um dos poucos materiais utilizados na construção civil que provém de fonte inteiramente renovável. Portanto, quando técnicas apropriadas de manejo florestal são utilizadas, pode-se estender a exploração do recurso madeireiro por tempo indeterminado, gerando impacto reduzido ao bioma natural (Kolb, 2008; FPL, 2010).

Além disso, por meio do processo conhecido como fotossíntese, durante seu crescimento, a árvore absorve água e sais minerais do solo e dióxido de carbono da atmosfera, transformando esses materiais em um polímero básico para formação de seus diferentes tecidos, liberando oxigênio como resíduo do processo (figura 1.1, equação 1). Por esse motivo, diz-se que a árvore “seqüestra” CO₂ da atmosfera e o armazena na forma de madeira até que esta sofra deterioração natural ou queima, liberando o CO₂ de volta à atmosfera (figura 1.1, equação 2). Pesquisas apontam que aproximadamente metade do peso da árvore seja constituído por carbono “seqüestrado” (FPL, 2010; Volz, 2008). Cabe ainda ressaltar que após o ciclo de vida da construção, a madeira empregada pode ser reutilizada no mesmo formato ou transformada em outros produtos, aumentando assim o ciclo de vida do material (FPL, 2010).

Como os gastos de energia e emissões de gases do efeito estufa durante as etapas de processamento industrial são baixos, a madeira é considerada um material de baixa energia incorporada. Ou seja, os processos de cultivo, extração, processamento e transporte demandam pouco gasto de energia e consequentemente, produzem menor quantidade de emissões, especialmente quando comparados a outros materiais empregados na construção civil. Por exemplo, comparando pilares de 3 metros de altura feitos com madeira, concreto armado ou aço, o pilar de madeira, resistindo à mesma solicitação de carga que os demais, pesa 5 e 1,3 vezes menos e necessita 3,8 e 9,3 vezes menos energia, respectivamente (figura 1.2). A baixa energia incorporada torna os produtos de madeira serrada e seus derivados “carbono-positivos”, definição dada a produtos que absorveram mais carbono do que foi emitido durante sua produção e, portanto, apresentam um forte apelo ambiental.

Figura 1.1. Equações químicas: 1) processo de fotossíntese; 2) processo de queima da madeira. Fonte: FPL, 2010.

Especialmente no caso de programas de construção de grande escala, com impactos ambientais proporcionais (como seria o caso de programas de construção habitacional que visem reduzir ou eliminar o déficit habitacional brasileiro), a utilização da madeira pode e deve ser utilizada como uma forma de compensação ou amenização dos impactos ambientais da construção.

Por fim, cabe ressaltar que o Brasil apresenta boas condições climáticas para exploração de recursos madeireiros, particularmente, espécies de plantios florestais de rápido crescimento que apresentam altas taxas de incremento anual em todo o território nacional (ABRAF, 2011).

Os componentes construtivos analisados neste trabalho fazem uso intensivo de madeira, recurso renovável e com baixa energia incorporada, buscando aproveitar as boas condições para produção do material no país.

1.2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

A pré-fabricação da construção consiste na transferência de certo número de operações do canteiro para uma fábrica ou galpão. Desse modo, submete-se parte ou todo o processo de produção a um ambiente controlado, protegido das intempéries e seguindo critérios de produtividade industriais (Bruna,1976). Isso resulta em um maior rendimento e controle de qualidade, além de proporcionar melhores condições de trabalho aos operários

Figura 1.2. Peso e gasto de energia para produção pilares com 3 m de altura, resistindo à mesma carga. Fonte: Kolb, 2008.

(Bruna, 1976; Winter, 2008). Adicionalmente, a pré-fabricação pode ainda simplificar o trabalho em canteiro, resultando, no nível mais avançado, na sua transformação em simples operação de montagem realizada por equipe de profissionais treinados (Bruna, 1976).

De modo geral, sistemas construtivos modernos em madeira, como entramado (*balloon-framing* ou *plataform-framing*), painel oco (*panel system*) e painel maciço (*solid timber*), adaptam-se bem à pré-fabricação devido às propriedades físicas do material, como sua fácil trabalhabilidade e boa relação peso/resistência (no sentido axial), possibilitando no primeiro caso, soluções simples e eficientes para conexões entre diferentes elementos, muitas vezes necessitando apenas ferramentas manuais para sua execução e, no segundo caso, permitindo a manufatura de componentes construtivos de grandes dimensões que agregam resistência e relativa leveza. Também cabe mencionar o desenvolvimento de materiais e tecnologias provenientes de campos complementares, tais como conectores mecânicos, adesivos químicos e usinagem computadorizada que, quando aplicados aos sistemas construtivos em madeira, geram ampliação nos ganhos de produtividade e desempenho.

Sistemas construtivos utilizando elementos em Cross Laminated Timber (madeira laminada cruzada - CLT) conjugam as características citadas acima e encontram-se em franca difusão no hemisfério norte. Na Europa Central,

Figura 1.3. Gráfico de evolução da produção do CLT na Europa Central (1000 m³). Fonte: Schickhofer, 2010.

a produção de CLT já é a segunda mais importante dentre os produtos beneficiados de madeira (em volume) e vem apresentado crescimento exponencial nos últimos 10 anos (figura 1.3). Estima-se que em 2015 sua produção no continente europeu alcance a marca de 1 milhão de metros cúbicos, igualando-se ou até mesmo superando a produção de madeira laminada colada (Schickhofer, 2010).

O CLT é produzido a partir da justaposição de camadas transversais de lamelas de madeira por meio de adesivo poliuretano, formando grandes painéis. Os painéis são usinados na fábrica, em serras automatizadas controladas numericamente por computador, formando peças menores que constituem os elementos construtivos como paredes, pisos e cobertura. Os elementos são transportados da fábrica até o canteiro com recortes de vãos (janelas e portas) e espaço para instalações já executados. Por meio da utilização de guindaste os elementos são içados e colocados em seus lugares definitivos; carpinteiros fixam esses elementos à construção com conectores metálicos e parafusos auto-atarrachantes, utilizando parafusadeiras elétricas. Assim, com pouco tempo de trabalho em canteiro é possível obter uma construção de alta qualidade com elevado isolamento térmico e fechamento hermético. Como exemplo, pode ser mencionado o edifício Murray Groove Stadthaus, em Londres (figura 1.4). O edifício é uma construção habitacional multi-familiar de nove pavimentos cuja montagem da estrutura, feita integralmente com elementos de CLT, foi realizada em 28 dias por apenas 4 carpinteiros e um operador de guindaste (Santiago, 2009).

O trabalho analisará diferentes formas para produção de CLT e painéis

Figura 1.4. Edifício Stadthaus em Londres: vista interna durante a construção, mostrando os elementos e conectores metálicos (esq.); Vista externa do edifício acabado (dir.). Fonte: <waughthistleton.com>. Acesso em outubro de 2012.

maciços similares que utilizem o princípio da laminação cruzada entre as diferentes camadas, por se tratar de um material que faz uso predominante de madeira e possibilita alto nível de pré-fabricação de elementos, resultando em uma construção mais rápida, com menor desperdício e alto desempenho.

1.2.3 FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

Desenvolver um produto que apresente bom aproveitamento do ponto de vista do processo produtivo e desempenho adequado do ponto de vista de sua utilização final, requer um entendimento global do processo, desde o projeto até a produção, pois qualquer que seja o projeto do produto, ele demandará uma gama específica de operações para sua manufatura. Portanto, visando obter o melhor desempenho possível de um produto, é fundamental que se compreenda as relações entre seu projeto e o processo produtivo a ser empregado, visando antecipar possíveis problemas de capacidade produtiva, tempo de produção, custos, etc. Desse modo, ao invés de desenvolver uma linha de produção em torno do projeto de um determinado produto, é possível projetar o produto tendo em vista sua melhor adequação dentro de um dado processo produtivo.

Todavia, como afirma Herrmann (2003), o conhecimento do processo produtivo envolvido na manufatura de um produto, incluindo desde a etapa de fornecimento dos insumos até a linha de produção propriamente dita, apesar de extremamente importante para o desenvolvimento de um projeto adequado, na maioria das vezes acaba sendo negligenciado. Por esse motivo, o autor citado sugere um sistema denominado *Design for Production* (DFP), visando amenizar e até mesmo solucionar essa condição de separação entre projeto e produção. O DFP é um método que permite avaliar o processo produtivo em função de variáveis do projeto do produto, fornecendo subsídios para que ainda em fases preliminares, este possa ser modificado a fim de evitar problemas posteriores no âmbito da produção, ou ainda buscando melhorar certas variáveis de produção tais como capacidade produtiva, tempo e custos de produção (Herrmann, 2003).

No método proposto pelo DFP, em primeiro lugar, é importante identificar quais atributos do projeto do produto influenciam substancialmente seu desempenho no processo produtivo. A seguir, devem ser propostas variáveis para estimar índices de desempenho da produção em função dos atributos relevantes do projeto do produto. Desse modo, é possível compreender como

certas decisões de projeto influem no desempenho do processo produtivo. Ao obter essas informações em fases iniciais do processo de projeto, antecipam-se os problemas produtivos e evitam-se retrocessos em fases posteriores. Ao final, obtém-se um modelo de avaliação do sistema produtivo, possibilitando estimar variáveis de desempenho tais como tempo do ciclo produtivo, capacidade e custos de produção, etc. em função do projeto e das condições produtivas. Cabe ressaltar que, segundo Herrmann (2003), as ferramentas específicas utilizadas no DFP para análise de variáveis de desempenho devem ser baseadas nas condições de cada produto e sistema produtivo em particular. A figura 1.5 mostra um organograma com a abordagem geral do DFP.

O trabalho analisará os diferentes tipos de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada, observando a influência do projeto de cada produto no processo produtivo. Essas informações servirão como base para o estabelecimento das diretrizes para projeto de painel maciço em madeira utilizando o princípio da laminação cruzada, no Estado de São Paulo.

1.2.4 RELEVÂNCIA CIENTÍFICA

Por ser um material relativamente novo, a construção com painéis maciços de madeira ainda é em boa parte desconhecida no país. Assim sendo, um estudo abrangente das diferentes possibilidades para produção de painéis que utilizem o princípio da laminação cruzada, relacionando o projeto do produto com o processo produtivo e a análise de sua adequação ao contexto nacional, visa contribuir para a difusão do conhecimento sobre esse sistema construtivo em território nacional e aumentar a discussão sobre novas formas de utilização da madeira na habitação.

Figura 1.5. Organograma mostrando a abordagem geral do Design for Production (DFP). Fonte: adaptado de Herrmann, 2003.

1.3 PERGUNTA DE PESQUISA

1.3.1 PERGUNTA PRINCIPAL DE PESQUISA

Quais as possibilidades e limitações para o projeto de painel maciço de madeira utilizando o princípio da laminação cruzada, adequado ao setor madeireiro paulista, empregado como elemento vertical portante para construção habitacional?

1.3.2 PERGUNTAS INTERMEDIÁRIAS DE PESQUISA

- a) O que são painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada?
- b) Quais os tipos de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada?
- c) Quais as principais variáveis de projeto a serem observadas no processo produtivo de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada?
- d) Como as variáveis determinadas em “c” influem no processo produtivo dos painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada?
- e) Quais as características do setor madeireiro, do ponto de vista das reservas florestais e indústria madeireira, na Áustria, país que concentra a maior produção de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada?
- f) Quais as características do setor madeireiro, do ponto de vista das reservas florestais e indústria madeireira no Estado de São Paulo em comparação à Áustria?
- g) Como as diferenças observadas em “f” influem no custo de produção de um componente construtivo empregando painel maciço em madeira que utiliza o princípio da laminação cruzada?

1.4 HIPÓTESE DE PESQUISA

1.4.1 HIPÓTESE PRINCIPAL DE PESQUISA

Dentre as possibilidades para projeto de painel maciço em madeira que utiliza o princípio da laminação cruzada, destaca-se o potencial para cultivo de espécies arbóreas de rápido crescimento no Estado de São Paulo,

notadamente o *Pinus* e *Eucalyptus*. A boa oferta de matéria-prima pode reduzir o preço de produtos madeireiros derivados dessas espécies, tornando-os economicamente atrativos inclusive para o segmento econômico da construção civil.

Por outro lado, dentre as limitações para o projeto de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada, deve ser levada em consideração a reduzida capacidade de investimento em infra-estrutura de produção, limitando as possibilidades do processo produtivo do painel do ponto de vista da maquinaria. Por esse motivo, devem ser estimulados processos produtivos com menor mecanização e automação, demandando menor capital imobilizado, adequados ao sistema de ofícios.

1.4.2 HIPÓTESES INTERMEDIÁRIAS DE PESQUISA

- a) Painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada são constituídos por três ou mais camadas de lamelas de madeira, orientadas perpendicularmente entre si, de modo a conferir resistência contra esforços laterais e estabilidade dimensional ao componente.
- b) Os painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada podem ser divididos em dois tipos principais: painéis que realizam a conexão entre as diferentes camadas por meio de adesivos químicos ou mecanicamente.
- c) As principais variáveis de projeto a serem observadas no processo produtivo dos painéis são: materiais constituintes, infra-estrutura de produção (maquinaria, quantidade de trabalhadores ocupados) e eficiência no uso do material.
- d) As variáveis definidas em “C” influem no processo produtivo dos painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada da seguinte maneira: os materiais constituintes influem na facilidade de usinagem do painel e seu potencial de reciclagem; a infra-estrutura de produção influí no nível de produtividade da indústria e relação entre capital imobilizado e móvel; a eficiência no uso do material contribui para uma produção econômica do painel e, conseqüentemente, dos elementos derivados do painel.
- e) A Áustria possui vastas reservas florestais de árvores coníferas, uma indústria madeireira voltada para a produção de madeira serrada e produtos derivados com alto valor agregado.

f) O Estado de São Paulo possui reservas de florestas plantadas, principalmente de *Eucalyptus*, e uma indústria madeireira orientada para produção de papel e celulose.

g) No caso paulista, apesar da alta produtividade das florestas plantadas, a orientação da produção de toras e indústria madeireira para o segmento industrial do papel e celulose cria uma baixa oferta de madeira serrada, resultando em um custo elevado desse produto e, conseqüentemente, em um custo elevado para produção de painéis maciços em madeira.

1.5 OBJETIVO DE PESQUISA

1.5.1 OBJETIVO PRINCIPAL DE PESQUISA

Estabelecer diretrizes para projeto de painel maciço em madeira utilizando o princípio da laminação cruzada, adequado ao contexto florestal e indústria madeireira paulista, empregado como elemento vertical portante na construção.

1.5.2 OBJETIVOS INTERMEDIÁRIOS DE PESQUISA

- a) Definir o que são painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada.
- b) Delimitar os principais tipos de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada.
- c) Definir as principais variáveis de projeto a serem observadas no processo produtivo de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada.
- d) Delimitar o campo de influência de cada variável determinada em “C” no processo produtivo dos painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada?
- e) Caracterizar o setor madeireiro, do ponto de vista das reservas florestais e indústria madeireira na Áustria, país que concentra a maior produção de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada.
- f) Caracterizar o setor madeireiro, do ponto de vista das reservas florestais e indústria madeireira, no Estado de São Paulo e compará-lo com a Áustria.

g) Compreender como as diferentes características no setor madeireiro de cada local, observadas em “f”, influenciam no custo final do painel maciço em madeira que utiliza o princípio da laminação cruzada.

1.6 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

1.6.1 MÉTODO DE PESQUISA

O método utilizado consiste na busca de fontes primárias de informação para obtenção de dados brutos, seguida pela interpretação dos dados obtidos. Primeiramente, foram coletadas informações sobre painéis que utilizam o princípio da laminação cruzada. Sempre que possível, foram feitas visitas às fábricas e/ou consulta aos profissionais atuantes na área. A seguir, as informações sobre o setor madeireiro de cada local (Áustria e Estado de São Paulo) foram coletadas nas instituições de pesquisas estatísticas de cada país. Terminada a etapa de coleta de dados, as informações foram interpretadas por meio de análises comparativas. Ao final, puderam ser estabelecidas diretrizes para o projeto de painéis maciços que levassem em conta as informações coletadas e interpretações desenvolvidas ao longo da pesquisa.

1.6.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Parte 1: Revisão Bibliográfica

Na primeira parte da pesquisa buscou-se sistematizar as principais características de diferentes tipos de painéis maciços de madeira que utilizam o princípio da laminação cruzada. Foram levantadas informações sobre as características básicas (espécies de madeira empregadas, número de camadas, forma de solidarização, dimensões máximas e acabamentos de superfície) e sobre o processo produtivo (etapas de produção, infra-estrutura, mão-de-obra e controle de qualidade) de 5 produtos diferentes: Mayr Melnhof Holz BSP, Novatop Solid, Massivholz Mauer, Holz 100 e Massiv Wand 5. Cada produto foi analisado individualmente visando delimitar pontos positivos e negativos do projeto e suas respectivas implicações no processo produtivo. As informações foram obtidas por meio de visita às fábricas, pesquisa em teses e publicações relacionadas e pesquisa na página de internet dos fabricantes. Com a análise dos estudos de caso foi possível compreender como cada projeto influí no processo produtivo, assim como delimitar as principais variáveis do processo produtivo em cada caso.

Parte 2: Análise comparativa entre o Estado de São Paulo e a Áustria

Na segunda parte foi desenvolvida uma análise comparativa do setor madeireiro na Áustria, país que concentra a maior produção de CLT na Europa Central (Schickhofer, 2011), e no Estado de São Paulo, local no qual se pretende avaliar as possibilidades e limitações para produção dos painéis maciços que utilizem o princípio da laminação cruzada. A análise foi dividida em duas etapas.

Parte 2.1: Análise comparativa entre o setor florestal austríaco e o paulista

Na primeira etapa foram analisadas as reservas florestais (área de cobertura florestal, taxa de incremento anual, distribuição das espécies) e indústria madeireira (produção total de toras de madeira, distribuição das toras entre os diferentes segmentos industriais, valor adicionado bruto e número de empregos gerados pelo setor) na Áustria e no Estado de São Paulo. As informações foram obtidas em relatórios de levantamento estatístico dos respectivos países e em publicações relacionadas.

Com a primeira etapa, buscou-se relacionar a produção austríaca de painéis maciços a um contexto específico, além de explicitar suas principais diferenças em relação ao contexto paulista. Desse modo, foi possível delimitar de forma geral algumas das principais possibilidades e limitações condicionadas pela estágio de desenvolvimento atual do setor madeireiro paulista. Esse resultado foi utilizado para selecionar, dentre os cinco estudos de caso da “Parte 1”, a opção de painel que apresenta maior possibilidade de adequação às condições do setor madeireiro em São Paulo, observadas em 2.1.

Parte 2.2: Análise de custos para produção de componente construtivo utilizando painel maciço em madeira (MW5) em Viena e na RMSP

Na segunda etapa foram elaboradas estimativas de custo para a produção de componente construtivo utilizando o painel MW5 (selecionado no final da parte 2.1) em Viena e na RMSP. Foram observados o custo por metro quadrado e participação de cada etapa produtiva (manufatura da estrutura, revestimento e montagem em canteiro) em relação ao custo final do componente. Os resultados individuais de cada localização foram então analisados e comparados entre si. As informações foram obtidas no trabalho

Holzbauweisen für die Verdichteten Wohnbau (2001) desenvolvido pela *Vienna University of Technology* e no banco de dados PINIweb, Guia da Construção (2012).

Com a segunda etapa, objetivou-se identificar as principais diferenças referentes à participação dos gastos com insumos e mão-de-obra em relação ao custo de produção do painel em cada localização. Desse modo, puderam ser melhor identificadas as consequências da situação do setor madeireiro (parte 2.1) no custo de produção de um painel MW5 (parte 2.2).

Parte 3: Estabelecimento de diretrizes e projeto síntese

Na terceira e última parte da pesquisa buscou-se estabelecer diretrizes para projeto de painel maciço em madeira, e apresentar uma proposta para desenho de painel maciço que utilize o princípio da laminação cruzada, empregado como elemento vertical portante.

Parte 3.1: Estabelecimento de diretrizes

Com as informações levantadas nas partes 1 e 2 da dissertação foram estabelecidas diretrizes para o projeto de painel maciço em madeira que utilize o princípio da laminação cruzada em São Paulo. As diretrizes foram elaboradas relacionando a influência do projeto do produto no processo produtivo (parte 1) com as possibilidades e limitações determinadas pelo estágio de desenvolvimento atual do setor madeireiro paulista (parte 2).

Parte 3.2: Projeto síntese

Foi desenvolvida uma proposta preliminar para desenho do painel, como forma de sintetizar as diretrizes estabelecidas anteriormente. Por fim, as principais descobertas ao longo do trabalho foram resumidas e discutidas, visando responder à pergunta principal de pesquisa.

1.7 REFERÊNCIAS

1.7.1 LIVROS E ARTIGOS

BRUNA, P. J. V. **Arquitetura, Industrialização E Desenvolvimento**. Editora Perspectiva: São Paulo, 1976.

FARAH, M. F. S. **Processo De Trabalho Na Construção Civil: Tradição E Mudança**. Anablume: São Paulo, 1996.

FOREST PRODUCT LABORATORY (FPL). **Wood Handbook: Wood As Engineering Material**. Department of agricultura, Forest Service: Madison, 2010.

HERRMANN, J. W. **Design For Production: Concepts And Applications**. Proceedings of the SME East Cost Region, 2003.

KOLB, J. **Systems In Timber Engineering: Loadbearing Structures And Component Layers**. Editado por Lignum e German Society for Wood Research. Birkhäuser: Basileia, 2008.

MARX, K. **O Capital. Crítica Da Economia Política**. Editora Nova Cultural: São Paulo, 1996.

VOLZ, M. **Anatomy Of Wood**. In: Timber Construction Manual, p. 31-46, Birkhäuser: Berlim, 2008.

WINTER, W. **Wood Pre-fabrication**. In: Timber Construction Manual, p. 74-75, Birkhäuser: Berlim, 2008.

WINTER, W.; DREYER, J.; SHÖBER, H. **Holzbauweisen für den verdichteten Wohnbau**. Haus der Zukunft: Viena, 2001.

1.7.2 RELATÓRIOS

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Nota Sobre O Déficit Habitacional 2008**. Secretaria da Habitação: Brasília, 2010.

SCHICKHOFER, G. **CLT – European Experiences**. Palestra proferida no Institute For Timber Engineer And Wood Technology. Vancouver, 2011.

1.7.3 REVISTA

SANTIAGO, Gabriel. **Obras: Stadhaus, 24 Murray Grove, Reino Unido. Waugh Thistleton architects**. In: Madera Disegno no 74, Argentina, junho, 2009.

2.0 REVISÃO DE ESTADO DA ARTE

Resumo: o objetivo deste capítulo é sistematizar as principais características de diferentes tipos de painéis maciços de madeira que utilizam o princípio da laminação cruzada. Foram determinados os principais pontos positivos e negativos das soluções e como certos atributos do projeto do produto influem no processo produtivo do painel. Foram levantadas informações sobre as características básicas (espécies de madeira empregadas, número de camadas, forma de solidarização, dimensões máximas e acabamentos de superfície) e sobre o processo produtivo (etapas de produção, infraestrutura, mão-de-obra e controle de qualidade) de 5 produtos diferentes: Mayr Melnhof Holz BSP, Novatop Solid, Massivholz Mauer, Holz 100 e Massiv Wand 5. Cada produto foi analisado individualmente, visando delimitar pontos positivos e negativos do projeto, além de suas respectivas implicações no processo produtivo. Os produtos foram então comparados entre si. As informações foram obtidas por meio de visita às fábricas, pesquisa em teses e publicações relacionadas e pesquisa na página de internet dos fabricantes. Ao final, obteve-se que os painéis são fabricados com madeira serrada de coníferas, devido à sua oferta abundante nos

locais estudados, e em grandes dimensões, visando reduzir os custos individuais de cada produto pelo aumento da produtividade. Além disso, observou-se que a forma de solidarização entre as diferentes camadas possui grande influência no processo produtivo. De um modo geral soluções que utilizam adesivos químicos demandam maior mecanização do que soluções que realizam a solidarização das camadas por meio de conexões mecânicas.

Palavras-chave: processamento de madeira, madeira laminada, painéis maciços de madeira, desenho do produto, processo produtivo.

Abstract: *the purpose of this chapter is to summarise the main characteristics of different cross laminated solid timber panels. It aims to establish which and how product design attributes influence panel's production process. Information on basic features (wood species, number of layers, bonding solution, maximum dimensions and surface finish) and production process (production steps and infrastructure, labor force and quality control) of 5 different*

products were gathered: Mayr Melnhof Holz BSP, Novatop Solid, Massivholz Mauer, Holz 100 and Massiv Wand 5. Each product was analysed individually in order to determine the positive and negative points, as well as their implications on the production process. The information was obtained through factories visits, research on theses and related publications and research on the manufacturers' website. At the end, it was found that the panels are made of softwood sawn timber, due to its abundant supply in the factories studied, and produced in large dimensions, in order to reduce the individual costs of each product by increasing productivity. Furthermore, it was observed that the bounding forms between the different layers possess great influence on the production process. Overall, solutions using chemical adhesives require more machinery than solutions bounding the layers by means of mechanical connectors.

Keywords: wood processing, laminated timber, solid wood panels, product design, production process.

2.1 O CROSS LAMINATED TIMBER (CLT) AUSTRÍACO: ESTUDO DE CASO DA MMH.

Resumo: o tópico tem como objetivo delinear as características básicas do CLT austríaco e seu sistema produtivo, visando obter uma visão geral sobre os principais pontos positivos e negativos do projeto do produto e suas respectivas implicações no processo produtivo. Após breve descrição do produto e das quatro maiores empresas fabricantes (BBS, KLH, MMH, Stora-enso), as características básicas do CLT em cada empresa (número de camadas, dimensões padrão e função principal na construção) foram descritas e comparadas. A seguir, foi desenvolvido um estudo de caso sobre a fabricação do CLT da Empresa MMH, na fábrica situada em Gaishorn, província da Estíria, Áustria. Foram analisados o contexto geográfico (localização e reservas florestais), as características físicas da fábrica (espaço físico, recursos humanos e produtividade) e as etapas de produção. As informações foram obtidas em campo durante uma visita à fábrica, no dia 18 de agosto de 2011 e na página de internet dos fabricantes. Ao final, obteve-se que os painéis são fabricados com madeira serrada de coníferas, devido à sua oferta abundante nos locais estudados e em grandes dimensões, visando reduzir os custos individuais de cada produto

pelo aumento da produtividade. Além disso, foram identificados como pontos negativos no processo a demanda de grandes quantias de investimento em infra-estrutura de produção, em parte, decorrente da utilização de adesivo poliuretano, uso considerável de material orientado transversalmente à direção de maior solicitação e perda de material durante a usinagem do painel.

Palavras-chave: serraria, processamento de madeira; madeira laminada, painéis maciços de madeira, processo produtivo.

Abstract: *the topic aims to outline the main features of Austrian CLT and its production system. It intends to establish an overview on the product design's strengths and weaknesses as well as its implications in the production process. After a brief description of the product and the four major manufacturers (BBS, KLH, MMH, Stora-Enso), CLT's basic features from each company (number of layers, standard dimensions and function in building) were described and compared. Hereafter, a case study on the MMH's Gaishorn Factory was developed. The*

geographical context (forest reserves and forest productivity), the physical attributes (space, human resources, productivity) and production steps were analysed. The information was obtained during a visit in the factory on August 18th, 2011 and on the website of the manufacturers. At the end, it was found that the panels are made of softwood sawn timber, due to its abundant supply in the locations studied and on large dimensions, in order to reduce the individual costs of each product by increasing productivity. Furthermore, it was identified as weaknesses the large demand for production infrastructure investments, partially, due to the use of polyurethane bounding, the inefficient use of wood placed in cross-layer and material of waste during panel milling.

Key-words: *sawmills, timber processing; laminated timber, solid wood panels; production process.*

2.1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

2.1.1.1 DIFUSÃO DO CLT

Devido às crescentes preocupações ecológicas das últimas décadas, o uso de materiais provenientes de fontes renováveis, tal qual a madeira, passaram a ser vistos como uma possibilidade para reduzir os impactos do setor da construção civil no meio ambiente e vem aumentando a sua participação frente aos materiais convencionais. Um exemplo do crescimento do uso da madeira na construção pode ser observado na Áustria, país de tradição construtiva com base mineral (pedra e tijolo) que, em 1998, possuía apenas 25% de todas as construções em madeira; já em 2008, esse número havia subido para 39% (Teishinger, 2011).

O aumento da utilização da madeira coincide com o desenvolvimento de novos produtos que possibilitam uma construção mais rápida, econômica e com maior qualidade em termos de isolamento térmico e fechamento hermético. Destaca-se entre esses produtos o CLT, amplamente difundido na Europa Central dentro do período referido. Sua produção, de 1996 até 2008, apresentou crescimento de aproximadamente 860%¹, sendo que, atualmente, 63% da produção do CLT no continente Europeu concentra-se na Áustria (Schickhofer, 2011).

Por se tratar de um material relativamente novo, a bibliografia ainda é pouca extensa e limita-se sobretudo ao hemisfério norte. Assim sendo, ao efetuar uma ampla revisão sobre o tema, este tópico pretende contribuir para a difusão do conhecimento e ampliação da discussão sobre o CLT em território nacional, concentrando-se no processo produtivo desse material.

2.1.2 OBJETIVO DE PESQUISA

2.1.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O tópico tem como objetivo delinear as características básicas dos painéis de CLT produzidos na Áustria. Buscou-se identificar os principais pontos positivos e negativos do projeto do produto e suas respectivas implicações no processo produtivo, explicitando as particularidades de cada fabricante.

2.1.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

1 Em 1996, a produção de CLT na Europa Central era de 25 mil metros cúbicos; em 2008 a produção havia saltado para 215 mil metros cúbicos. Não obstante, a tendência de crescimento da produção de CLT continuou forte mesmo durante o período de crise econômica, sendo que no ano de 2010 atingiu a marca 340 mil metros cúbicos, representando um incremento de aproximadamente 58%, em apenas dois anos. (Schickhoffer, 2011).

2.1.3.1 MÉTODO

Primeiramente, foram coletadas informações sobre as quatro maiores empresas fabricantes de CLT na Áustria, assim como as principais características do produto de cada empresa. Foi elaborada uma tabela contendo as informações básicas dos diferentes tipos de CLT (dimensões, espécies utilizadas, acabamentos e tipos de encaixes entre painéis), fornecendo assim uma visão geral sobre as características atuais do produto. As informações foram obtidas na página de internet dos fabricantes.

A seguir, foi desenvolvido um estudo de caso sobre o processo produtivo do CLT na Fábrica em Gaishorn, da Empresa MMH, situada na província da Estíria, Áustria. Foram analisados o contexto geográfico (reservas e produtividade florestal) e as características físicas da fábrica (espaço físico, recursos humanos e produtividade). As informações referentes ao contexto geográfico foram obtidas em relatórios de levantamento estatístico da província da Estíria e no Ministério da Agricultura, Silvicultura, Ambiente e Água da Áustria (Lebensministerium). As informações sobre as características físicas da fábrica foram retiradas da página de internet da empresa.

Na sequência, foram descritas as principais etapas da produção do CLT na fábrica em Gaishorn. As informações foram obtidas durante visita às dependências da fábrica em 18 de agosto de 2011. Na visita puderam ser observadas as etapas de produção, maquinaria utilizada, o número de trabalhadores por turno e sua distribuição ao longo da linha produtiva.

A partir das informações levantadas foram identificados pontos positivos e negativos no projeto e processo produtivo do CLT na MMH. Tais pontos foram descritos e discutidos fornecendo uma visão geral das principais variáveis envolvidas na fabricação do produto. Ao final, foi elaborada uma tabela de prós e contras, seguindo o formato da Análise SWOT,² sistematizando os principais aspectos abordados durante o tópico 2.1.

2.1.4 VISÃO GERAL DO CLT

2.1.4.1 DEFINIÇÃO DO CLT

Painéis de CLT são geralmente constituídos por três (figura 2.1), cinco ou sete camadas de lamelas de madeira, coladas perpendicularmente umas às outras

² Abreviação de *Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*, consiste em um método de análise utilizado para compreensão das forças (*Strengths*), fraquezas (*Weaknesses*) do que se estuda. Identificam-se também as oportunidades (*Opportunities*) que se abrem e as ameaças (*Threats*) que se enfrentam.

com adesivo à base de poliuretano (200 g/m^2)³ e prensadas à quente. Os painéis de CLT são produzidos em grandes dimensões, chegando a 3 metros de largura por 16,5 metros de comprimento⁴. O arranjo perpendicular entre as camadas confere grande estabilidade dimensional do painel. Por exemplo, uma peça comum de madeira serrada (*Picea abies*) apresentaria variação entre 0,27 e 0,36% no sentido tangencial (transversal) para cada percentual de mudança em seu teor de umidade⁵, porém, no CLT, devido à laminação cruzada, obtém-se uma variação de apenas 0,025 % no sentido transversal do painel para cada percentual de mudança no teor de umidade da madeira⁶. A camada perpendicular é ainda responsável por resistir aos esforços laterais da construção, tais como ventos e terremotos.

Os elementos construtivos produzidos a partir de um painel de CLT são adequados à função estrutural e podem ser utilizados como parede, piso ou cobertura nas mais diversas tipologias de edifícios. Entretanto, são especialmente requisitados para a construção habitacional com múltiplos pavimentos por esta tipologia apresentar em geral vãos menores.

Dentre os pontos positivos da construção com CLT ressalta-se o melhor controle climático do edifício, devido ao bom isolamento térmico dos elementos e à capacidade de absorção ou liberação de umidade no ambiente pela madeira (moisture buffering). Além disso, quando associados à tecnologia de usinagem com controle numérico computadorizado (CNC), elementos de CLT podem atingir alto nível de pré-fabricação, facilitando e agilizando o trabalho no canteiro. Adicionalmente, conexões entre elementos podem ser usinadas com precisão, melhorando o fechamento hermético da construção, resultando assim em menor perda de calor e redução dos gastos com energia para aquecimento.

2.1.4.2 PRINCIPAIS FABRICANTES AUSTRIÁCOS

De acordo com Schickhofer (2011), as quatro maiores empresas produzindo CLT na Europa, em termos de metros cúbicos anuais, são: Stora Enso, Binderholz (BBS), Kreuzlangholz (KLH) e Mayr Melnhof Holz (MMH).

Figura 2.1. Diagrama de disposição das camadas em painel de CLT.

3 <<http://www.mm-kaufmann.com>>. Acesso: setembro de 2011.

4 Idem.

5 Volz, 2008

6 <<http://www.mm-holz.com>>. Acesso: setembro de 2011.

As 3 primeiras foram caracterizadas brevemente na sequência; a última será tratada em maior detalhe durante o desenvolvimento do estudo de caso (item 2.1.5).

Stora Enso - Empresa de capital aberto, sediada em Helsinque e Estocolmo. Possui mais de 26.000 empregados e subsidiárias em 85 diferentes localizações no mundo⁷. Atua no ramo de embalagens, produção de papel e produtos madeireiros. A divisão encarregada dos produtos madeireiros (Stora Enso Wood Products) processa 6,4 milhões de metros cúbicos por ano e seus produtos incluem madeira serrada, perfilados de madeira, madeira laminada colada (vigas e painéis) e bio-massa (pélets)⁸. De acordo com informações na página de internet da empresa, metade da produção (aproximadamente 3,2 milhões de metros cúbicos) são definidos como produtos de alto valor agregado, dentre eles o CLT. A fábrica da Stora Enso localizada na província da Caríntia, no Sul da Áustria (figura 2.2), é responsável pela produção de CLT desde 2007 e emprega 260 funcionários, produzindo 65.000 metros cúbicos por ano⁹.

BBS - Fundada em 1950, esta empresa austríaca possui instalações em 5 localizações diferentes: 4 delas situadas na Áustria (Fuegen, Jenbach, St. Georgen, Hallein and Unternberg), e uma na Alemanha (Koesching/Interpark). No total, emprega por volta de 1.150 pessoas e seus produtos incluem madeira serrada, perfilados de madeira, madeira laminada colada (vigas e painéis), madeira reconstituída (MDF) e biomassa (pélets). A

Figura 2.2. Localização das fábricas de CLT na Áustria sobre mapa de cobertura florestal. Legenda: 1) Stora Enso, 2) BBS, 3) KLH, 4) MMH. Fonte: Schuck, et al, 2002; Google maps, 2011.

7 <<http://www.storaenso.com>>. Acesso: setembro de 2011.

8 <<http://www.storaenso.com/products/wood-products/>>. Acesso: setembro de 2011.

9 <<http://www.clt.info/>>. Acesso: setembro de 2011.

produção de CLT teve início em 2006, na fábrica situada na província de Salzburgo, próximo à divisa com a Estíria¹⁰ (figura 2.2).

KLH - Empresa austríaca que possui subsidiárias na Suécia e no Reino Unido. Emprega 130 funcionários e apresenta-se como líder no mercado de painéis CLT. Produz 650.000 metros quadrados anuais¹¹, sendo que seus produtos são distribuídos para todos os países da união europeia e também para Liechtenstein, Noruega e Suíça. A fábrica de CLT localiza-se na região da Estíria (figura 2.2).

2.1.4.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E DIMENSÕES.

A tabela 2.1 sintetiza as principais informações sobre o CLT nos quatro fabricantes pesquisados. Observa-se que quase todos os fabricantes produzem painéis com dimensões em torno de 3 metros de largura por 16 metros de comprimento. A exceção seria a BBS que produz painéis mais estreitos e compridos, com 1,25 metros de largura por 24 metros de comprimento. Isso porque, de acordo com o que pode ser constatado no vídeo sobre o processo produtivo do BBS-125¹², primeiramente são produzidos painéis com largura de 1,25 metros e menor comprimento que são então unidos por finger-joint. Assim sendo, cria-se uma outra condição dentro do sistema produtivo que favorece a um maior comprimento final. No entanto cabe ressaltar que recentemente a empresa lançou um nova linha, denominada CLT BBS XL, cujas dimensões enquadram-se na média praticada pelos demais fabricantes.

Nota-se ainda que todas as espécies empregadas são madeiras provenientes de coníferas. Isso decorre da oferta de madeira na Áustria, onde quase 70% das florestas são de coníferas (tema abordado em maior detalhe no item 3.1.4.1). Além disso, espécies de coníferas apresentam geralmente maior facilidade para laminação devido a sua menor densidade em comparação com espécies de folhosas o que facilita a penetração dos adesivos.

Em relação aos acabamentos, constata-se que todas as empresas fornecem os painéis CLT com as superfícies lixadas. Adicionalmente, as empresas KLH e BBS fornecem painéis com acabamento aplainado e, no caso da última, com a superfície escovada. A BBS também é a única a executar as juntas laterais entre os painéis por meio de lingüeta solta (figura 2.3, baixo): as demais empresas utilizam junta sobreposta ou junta macho-fêmea (figura 2.3,

10 <<http://www.binderholz-bausysteme.com>>. Acesso: setembro de 2011.

11 <<http://www.klh.at/>>. Acesso: setembro de 2011.

12 <<http://www.binderholz-bausysteme.com/videos.html>>. Acesso: setembro de 2011.

esquerda e direita).

Tabela 2.1. Principais características do CLT por fabricante.

Fabricantes	KLH	BBS - 125	Stora Enso - CLT	MMH - BSP
Dimensões gerais				
comprimento máximo (m)	16,5	24	16	16,5
largura máxima (m)	2,95	1,25	2,95	3
espessura (mm)	57 - 500	66 - 341	72 - 400	78 - 278
3 Camadas - espessura (mm)				
Parede/ Cobertura		66, 78, 90, 100, 110, 120, 130		78, 94, 95, 98, 106, 118
Parede	57, 72, 94, 120		57, 83, 97	
Cobertura	57, 60, 78, 90, 95, 108, 120		57, 74, 83, 97, 103, 112, 119, 126,	
5 Camadas - espessura (mm)				
Parede/ Cobertura		95, 100, 110, 120, 130, 140, 147, 163, 181, 203, 213		134, 140, 146, 160, 173, 184, 198
Parede	95, 125, 128, 158, 200		95, 138, 161	
Cobertura	117, 125, 140, 146, 162, 182, 200		95, 121, 138, 150, 165, 182, 196, 211	173, 184, 198
7 Camadas - espessura (mm)				
Parede/ Cobertura		233, 248, 284, 299, 341		
Cobertura	202, 226, * 208, 230, 260, 280 *		194, 216, 237, * 209, 223, 249, 267, 296 *	214, 240, * 214, 240, 258, 278 *

continua na página seguinte...

... continuação Tabela 2.1.

Fabricantes	KLH	BBS - 125	Stora Enso - CLT	MMH - BSP
Madeira Utilizada (Gênero)				
<i>Pseudotsuga</i>	x	x		
<i>Picea</i>	x	x	x	x
<i>Pinus</i>	x	x	sob encomenda	
<i>Larix</i>	x (uso interno)	x	sob encomenda	
<i>Abies</i>	x			
<i>Pinus / Pinus Cembra</i>	x	x		
Acabamento de superfície				
Aplainado	x	x		
Lixado	x	x	x	x
Escovado		x		
Encaixes laterais (figura 2.3)				
Junta sobreposta	x		x	x
Junta macho e fêmea	x		x	x
Junta de lingueta solta		x		x (largura maior que 1,2 m)
Outras		Sob encomenda	Sob encomenda	

* 7 camadas, sendo que as duas últimas em cada face possuem lamelas paralelas entre si.

Fonte: adaptado de Guttman, 2008.

Figura 2.3. Juntas entre painéis: sobreposição (esquerda), macho-fêmea (direita) e lingueta solta (baixo).

2.1.5 ESTUDO DE CASO: MMH, FÁBRICA EM GAISHORN

2.1.5.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA: MAYR MELNHOF HOLZ

A Empresa austríaca Mayr Melhof Holz (MMH) atua em toda a cadeia madeireira, desde o manejo florestal até o processamento de produtos madeireiros, empregando pouco mais de 1.900 trabalhadores no total¹³. A MMH tem grande presença no mercado de madeira serrada europeu (ocupando a posição de terceiro maior fornecedor¹⁴); produz também madeira processada (perfilados), madeira laminada (vigas e painéis) e biomassa. Possui quatro fábricas para beneficiamento primário de madeira na Europa, Leoben (Áustria), Frankenmarkt (Áustria), Paskov (República Tcheca), Efimovskij (Rússia), e quatro fábricas para beneficiamento secundário, Reuthe, Gaishorn, Kalwnag, (Áustria), Eppingen-Richen (Alemanha). No setor de processamento de produtos madeireiros, o principal produto da empresa é a madeira laminada colada (*Glulam*) com uma produção de cerca de 150.000 metros cúbicos anuais. A empresa participa até a manufatura do produto final pronto para ser transportado ao canteiro, porém, não participa da montagem das construções que é executada por empresas parceiras.

2.1.5.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO - FÁBRICA EM GAISHORN

2.1.5.2.1 Contexto geográfico

A fábrica está localizada em Leoben (figura 2.2), 160 quilômetros a sudoeste de Viena, na província da Estíria, onde concentra-se a maior área florestal da Áustria. Em 2009 a região apresentava quase 850 mil hectares de florestas, representando aproximadamente 22% do total de florestas do país¹⁵.

2.1.5.2.2 A fábrica

A fábrica de Gaishorn possui cerca de 12.000 metros quadrados, dentro dos quais encontra-se uma usina para classificação de madeira, três usinas para produção de madeira laminada colada (*Glulam*), uma usina para produção de chapas de madeira compensada, três depósitos para produtos acabados e cinco para madeira serrada, além de dezenove estufas para secagem. Desde 1991, por volta de 70 milhões de euros foram investidos na fábrica de Gaishorn, dos quais 20 milhões de euros foram aplicados exclusivamente no setor responsável pela produção de CLT.

13 <<http://www.mm-holz.com>>. Acesso: setembro de 2011.

14 Idem.

15 <<http://www.verwaltung.steiermark.at>>. Acesso: setembro de 2011.

A MMH deu início à fabricação de CLT em 2008 e hoje atinge a marca de aproximadamente 50.000 metros cúbicos anuais. De acordo com o departamento de vendas da empresa cerca de 2/3 do valor final do produto são decorrentes do custo da matéria-prima. Portanto, como CLT é um produto que utiliza intensivamente de madeira serrada para sua produção, a localização da fábrica nas proximidades das maiores reservas florestais austríacas (figura 2.2) bem como a posse de reservas florestais próprias (item 2.1.5.1) conferem à empresa MMH grande competitividade. Além disso, como é empregado na estrutura da edificação e, por vezes, deixado aparente na construção, a garantia da oferta de matéria-prima de qualidade, tanto do ponto de vista da resistência mecânica quanto do ponto de vista visual, é fundamental para manter o fluxo produtivo e para a segurança econômica da empresa. Não obstante, toras de madeira utilizadas pela indústria de beneficiamento possuem pequeno valor agregado; assim sendo, a distância da fonte produtora até a indústria de processamento tem influência significativa no seu preço de comercialização, devido ao acréscimo do valor do frete (tópico abordado em maior detalhe no item 3.1.4.2).

2.1.5.2.3 Etapas de produção

O processo de produção na MMH apresenta avançado nível de automação. Foram observados de 7 a 9 operários trabalhando na fábrica durante o período da visita, sendo que dois deles dedicavam-se exclusivamente à etapa de acabamento superficial do painel (etapa 5). No processo de produção não foi identificado em nenhum momento a necessidade de carpinteiro qualificado para a fabricação dos painéis. As etapas para produção do CLT na MMH são as seguintes:

1. Abastecimento e classificação da madeira: madeira serrada de conífera (*Picea abies*) é fornecida pela divisão de serraria da empresa que a entrega com 12% de umidade (visando diminuir o risco de ataque por insetos xilófagos e proliferação de fungos) e no formato de lamelas, cuja espessura varia de 19 a 40 milímetros. As lamelas passam por um processo de análise por scanner e são separadas qualitativamente, de acordo com o nível de

Figura 2.4. Diagrama mostrando em vista superior as esteiras de abastecimento e a mesa de prensagem.

resistência mecânica em função da existência de nós, trincas, inclinação das fibras, etc.

2. Execução do finger joint: as lamelas são conduzidas por esteiras até a máquina que executa o finger-joint nas duas extremidades das peças. Duas ou mais peças são unidas por meio de adesivo poliuretano, e cortadas no comprimento necessário. As peças seguem então para a prensa.

3. Disposição das camadas: a prensa situa-se entre duas esteiras de abastecimento. Em cada esteira as lamelas são dispostas lado a lado, paralelamente entre si, porém perpendicularmente em relação à esteira oposta. Por meio de guindaste com sucção a vácuo um conjunto de lamelas de um dos lados é içado e depositado sobre a mesa de laminação. O adesivo poliuretano mono-componente, com processo de cura pelo contato com a umidade do ambiente, é espalhado apenas na face da camada de lamelas (200 g/m²). Começa então o processo de içamento da camada perpendicular e assim sucessivamente (figura 2.4). Importante ressaltar que é empregada madeira de maior qualidade (separada na etapa 1) nas camadas que serão utilizadas no sentido de maior solicitação estrutural e madeira de menor qualidade nas camadas transversais a esse sentido. O tempo entre a disposição de todas as camadas e a prensagem não pode exceder 25 minutos, pois o adesivo poliuretano iniciaria o processo de cura devido à reação com a umidade do ar.

4. Prensagem: a utilização de uma única prensa para longas dimensões não seria viável economicamente, pois consumiria muita energia. Desse modo, na MMH são utilizadas três prensas de 3 x 3 metros, espaçadas dois metros entre si. De acordo com o tamanho do painel a ser produzido pode ser utilizada apenas uma, duas ou as três prensas. Além disso, são utilizadas prensas quentes visando acelerar o processo de secagem do adesivo e diminuir o tempo de produção de cada painel. São necessários de 3 a 6 minutos de prensagem por painel.

Figura 2.5. Esquemas de carregamento do caminhão: horizontal (esquerda); vertical (direita). Fonte: <<http://www.mm-holz.com>>. Acesso: setembro de 2011.

5. Acabamento: nesta etapa da produção todos os painéis tem suas superfícies externas lixadas, visando fornecer acabamento final liso e homogêneo. Dois empregados são designados para exercer unicamente esta função.

6. Usinagem: o painel prensado e lixado, segue então para a serra controlada numericamente por computador (CNC) onde é cortado em elementos construtivos menores (parede, piso ou cobertura); nesta etapa também são executados os encaixes de topo ou face entre os elementos e as aberturas de vão para janelas e portas.

7. Identificação e carregamento do caminhão: os elementos recebem um código numérico estampado em uma das laterais para que sejam facilmente identificados no canteiro. Os elementos finalizados são então carregados em um caminhão com o auxílio de um guindaste. Elementos com pouca ou nenhuma usinagem são dispostos no sentido horizontal, enquanto elementos com bastante usinagem, como paredes que possuam janelas e portas recortadas, são transportados no sentido vertical (figura 2.5). A primeira situação apresenta, geralmente, melhor aproveitamento do espaço do caminhão. Normalmente de 6 a 7 caminhões são carregados na fábrica de Gaishorn em um dia de trabalho.

2.1.5.3 OBSERVAÇÕES

Existe uma divergência entre os fabricantes estudados no tocante à colagem lateral da lamelas. MMH, BBS e KLH, utilizam o adesivo poliuretano apenas nas faces das lamelas entre as diferentes camadas; já a Stora-Enso executa também a colagem lateral entre as lamelas de uma mesma camada. A justificativa para a segunda opção seria a possibilidade de se obter um painel totalmente hermético, o que seria uma grande vantagem para obtenção de construções eficientes do ponto de vista energético, especialmente em países de clima mais frio. Entretanto, a desvantagem associada a essa prática consiste no fato de as lamelas das camadas externas estarem impedidas de se movimentar no sentido lateral de forma independente. Como consequência, aparecem fissuras provenientes da retração das lamelas (figura 2.6).

Figura 2.6. Diagrama de deformação das camadas externas: lamelas sem colagem lateral (esquerda); lamelas com colagem lateral (direita).

As demais fabricantes (MMH, KLH e BBS) acreditam que as rachaduras podem levar ao surgimento de pequenos espaços entre as lamelas no painel acabado, resultando na perda de parte do fechamento hermético, além do prejuízo visual. Trata-se, portanto, de uma discussão referente às propriedades estéticas e de fechamento hermético do painel devido ao comportamento das camadas exteriores; a opção de colar as laterais das lamelas não possui implicações no desempenho estrutural dos painéis.

2.1.5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O ESTUDO DE CASO

Em relação à matéria-prima empregada, pode-se observar a utilização exclusiva de madeira serrada de conífera da espécie *Picea abies*, árvore encontrada em maior quantidade nas florestas austríacas, confirmando assim a importância de garantia da oferta de matéria-prima. A utilização de adesivo poliuretano, em comparação com outros adesivos para laminação de peças estruturais de madeira (como adesivos fenólicos), tem como maior vantagem do ponto de vista ambiental a não emissão de formaldeído (IBO, 2009). Porém, por ser utilizado adesivo poliuretano mono-componente (sem necessidade de reagente para iniciar o processo de cura) existe um tempo limite para que todo o processo de produção do painel ocorra, pois, o contato com a umidade do ambiente iniciará a cura do adesivo. Por esse motivo, é necessário grau elevado de mecanização e automação da produção, visando agilizar o processo produtivo dos painéis (disposição das camadas, borrifamento do adesivo e prensagem) antes do início da cura do adesivo.

Além disso, nota-se que a utilização da prensa quente é fundamental para suprir a elevada demanda pelo produto, tornando possível a fabricação *on demand* do CLT. Ou seja, em um mesmo dia o painel inteiro é fabricado, recortado em elementos menores, que são usinados e carregados no caminhão para seguirem em direção ao canteiro. Se não fosse empregada a prensa quente, seria necessário uma etapa extra para secagem, além de um espaço para depósito dos painéis que estivessem secando.

Todavia, o grau elevado de automação da produção e a utilização de prensa quente acabam aumentando complexidade das máquinas empregadas no processo e, conseqüentemente, resultam na necessidade de grandes investimentos em infra-estrutura de produção.

Do ponto de vista do painel maciço acabado, a fabricação em grandes

dimensões, limitada basicamente pelas possibilidades de transporte, é um ponto positivo na direção do aumento da produtividade. Entretanto, a etapa de divisão desse grande painel em elementos menores e sua usinagem (execução de juntas e recortes de vãos referentes à janelas e portas) apesar de conferir alto grau de pré-fabricação à construção, resulta em desperdício de material, variando em função de cada projeto.

Por fim, do ponto de vista do elemento construtivo em CLT utilizado na construção, a camada transversal de lamelas, como mencionado (item 2.1.4.1), é responsável por fornecer estabilidade dimensional ao elemento em situações de variação no teor de umidade da madeira e resistir a esforços laterais. No entanto, a orientação das lamelas no sentido transversal ao painel faz com que 29 a 35 %¹⁶ da seção do elemento de CLT não atue diretamente na transferência de cargas verticais, direção de maior solicitação estrutural. Assim sendo, pode-se criar uma situação de uso ineficiente de parte do material da camada transversal, caso esta seja super-dimensionada para transmissão dos esforços laterais.

2.1.6 CONCLUSÃO

2.1.6.1 ANÁLISE SWOT DO CLT

A tabela 2.2 apresenta a análise SWOT, sintetizando as informações sobre o processo produtivo do CLT relacionando seus pontos fortes, fracos e suas respectivas oportunidades e ameaças.

2.1.6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi desenvolvido ao longo do trabalho, pode-se delimitar as seguintes conclusões sobre a produção do CLT:

- Do ponto de vista da localização da fábrica, é necessário proximidade às áreas de reservas florestais. Isso porque a maior parte do valor final do CLT é decorrente do custo da matéria-prima - madeira serrada (item 2.1.5.2.2). Portanto, torna-se necessário minimizar a participação dos custos de transporte no valor total do material como estratégia para diminuir os custos finais do produto.
- Do ponto de vista da qualidade da matéria-prima empregada, em decorrência do CLT ser um componente estrutural, utilizado

¹⁶ Variação em função da quantidade e disposição das camadas no painel. Valores calculados para as opções de CLT da MMH. Disponível em <<http://www.mm-holz.com>>. Acesso: setembro de 2011.

freqüentemente em edifícios multi-pavimentos, é fundamental o controle da qualidade da madeira, classificada eletronicamente de acordo com a existência de trincas e nós. Com isso, peças de melhor qualidade são colocadas nas camadas que atuam na direção de maior solicitação estrutural, enquanto peças de menor qualidade são utilizadas nas camadas perpendiculares a essa direção.

Tabela 2.2. Análise “SWOT” do processo produtivo do CLT.

Pontos fortes (Strengths)	Pontos fracos (Weaknesses)
1. Processo produtivo plenamente automatizado. 2. Possibilidade de produção de painéis com grandes dimensões, a partir dos quais são recortados os elementos construtivos (parede, piso, cobertura). 3. Disposição de camadas perpendiculares entre si. 4. Utilização de adesivo poliuretano.	1. Demanda por largas quantias de investimento em infra-estrutura de produção. 2. Recortes de vão referentes a portas e janelas são efetuados nos painéis acabados. 3. Camada transversal não atua diretamente na transferência das cargas verticais. 4. Demanda prensa hidráulica; adesivo proveniente de fonte não renovável.
Oportunidades (Opportunities)	Ameaças (Threats)
1. Aumento da produtividade e redução dos custos de mão-de-obra. 2. Ganho com economia de escala e alto nível de pré-fabricação dos elementos construtivos. 3. Boa estabilidade dimensional e resistência à esforços laterais. 4. Fácil usinagem do painel.	1. Falta de flexibilidade devido ao aumento do capital imobilizado. 2. Geração de resíduo de material decorrente da divisão dos painéis em elementos menores e recorte de vãos. 3. Pode resultar em uso pouco eficiente do material na seção transversal no caso de super-dimensionamento. 4. Aumento do investimento em maquinaria; utilização do adesivo em larga escala pode resultar em problemas ambientais.

- Do ponto de vista do processo produtivo, é possível observar a quase

total automação da linha de fabricação do CLT, atingida após grandes investimentos em maquinaria e infra-estrutura. Tal estratégia visa reduzir os custos individuais do produto pelo incremento da produtividade e é justificada por uma grande demanda pelo produto.

- Do ponto de vista da fabricação do painel, um dos avanços do CLT em relação a outros produtos beneficiados de madeira é a possibilidade de produzir painéis com grandes dimensões, cujas restrições são dadas, principalmente, em função das condições de transporte disponível.
- Do ponto de vista do desenho do produto, a camada cruzada confere ao elemento construtivo em CLT grande estabilidade dimensional e resistência a esforços laterais. Todavia, por não atuar na direção de maior sollicitação estrutural, em caso de super-dimensionamento, pode-se criar uma situação na qual parte da seção do elemento não esteja utilizada do modo mais eficiente para transmissão das cargas principais da construção.
- do ponto de vista da construção, o CLT possibilita um alto grau de pré-fabricação, sobretudo quando utilizado em conjunto com tecnologia de controle numérico computadorizado (CNC). O painel original pode ser dividido em elementos menores e os vãos para janelas e portas podem também ser recortados. Além disso, as conexões entre elementos e aberturas para instalações elétricas podem ser usinadas ainda na fábrica.
- do ponto de vista dos resíduos gerados, a prática de a partir de um grande painel produzir elementos menores e efetuar as aberturas de portas e janelas resulta em perda de material, variando de acordo com cada projeto. Muito embora as peças recortadas venham a ser utilizadas como biomassa para geração de energia, há um desperdício de recursos na medida em que estas peças passaram por todo o processo de beneficiamento da serraria e laminação na fábrica.
- do ponto de vista ecológico, a utilização de adesivo à base de poliuretano (produto derivado do petróleo e, portanto, proveniente de fonte não renovável) para colagem das lamelas, embora em termos relativos não esteja presente em grande quantidade (item 2.1.4.1), em termos absolutos cada painel pode conter de 0,4 a 1,2 litros de adesivo poliuretano por metro quadrado (dependendo do número de camadas). Esta quantidade torna-se um valor significativo quando colocado dentro da escala de produção do CLT. Por exemplo, tomando-se 0,8 litros por metro quadrado como valor

médio (item 2.1.5.2.3), calcula-se que para produção de CLT da empresa KLH (item 2.1.4.3) são necessários 520.000 litros de adesivo poliuretano por ano.

2.1.7 REFERÊNCIAS

2.1.7.1 LIVRO

VOLZ, M. Anatomy of Wood. In: Timber Construction Manual, p. 31-46, Birkhäuser: Berlim, 2008.

2.1.7.2 RELATÓRIOS

KLH MASSIVHOLZ GMBH. **Cross Laminated Timber**, 2011. Disponível em: <<http://www.klh.at>>. Acesso em 15 de set. de 2011.

BINDERHOLZ BAUSYSTEME. **Cross Laminated Timber BBS 125**, 2011. Disponível em: <<http://www.binderholz-bausysteme.com>>. Acesso em 13 de set. de 2011.

DAS LAND STEIERMARK. **Landesstatistik**, 2011. Disponível em: <<http://www.verwaltung.steiermark.at/>>. Acesso: 13 de set. de 2011.

MAYR MELHOF HOLZ HOLDING AG. **Facts and figures**, 2011. Disponível em: <<http://www.mm-holz.com>>. Acesso: 15 de set. de 2011.

MAYR MELHOF KAUFMANN. **Produktdokumentation**, 2011. Disponível em: <<http://www.mm-kaufmann.com>>. Acesso: 13 de set. de 2011.

ÖSTERREICHES INSTITUTE FÜR BAUBIOLOGIE UND ÖKOLOGIE (IBO). **Test chamber analysis of material specimens for the presence of formaldehyde, volatile organic compounds, and isocyanates**. Analysis report. Innenraum Mess- & Beratungsservice: Viena, 2009.

SCHICKHOFER, G. **CLT – European Experiences**. Palestra proferida no Institute For Timber Engineer And Wood Technology. Vancouver, 2011.

SCHUCK, A.; BRUSSELEN, J. V.; PÄIVINEN, R.; HÄME, T.; KENNEDY, P.; FOLVING, S. **Internal Report 13**. European Forest Institute, Joensuu, Finland, 2002. Disponível em: <<http://www.efi.int>>. Acesso: 13 de set. de 2011.

STORA ENSO. **Technical Especifications**, 2011. Disponível em: <<http://www.clt.info/>>. Acesso em 15 de set. de 2012.

TEISHINGER, A. **Holzbauen In Österreich: Statistische Erhebung von Hochbauvorhaben**. In: Zuschinitt, n. 43 (anexo). proHolz Austria: Viena, 2011.

2.1.7.3 REVISTA

GUTTMANN, E.; ISOPP, A. **Brettsper Holz – Produkt Porträt**. In: Zuschinitt, n. 31, p. 11-15. proHolz Austria, 2008.

2.2 ALÉM DO CLT: VARIAÇÕES E OUTRAS POSSIBILIDADES PARA PAINÉIS MACIÇOS.

Resumo: o objetivo deste tópico é analisar possibilidades distintas do CLT para fabricação de painéis maciços em madeira que utilizam o princípio da laminação cruzada. Foram desenvolvidos estudos de caso sobre 4 produtos diferentes: Novatop Solid, Massivholz Mauer, Holz 100 e Massiv Wand 5. Em cada caso foi pesquisado o contexto geográfico local (reservas e produtividade florestal), as características básicas do produto (espécies de madeira empregadas, número de camadas, forma de solidarização e dimensões máximas), os atributos físicos da fábrica (espaço físico, recursos humanos e produtividade) e as etapas de produção. Foram então identificados os pontos fortes e fracos de cada projeto e suas respectivas implicações no processo produtivo. As informações foram obtidas por meio de visita à fábrica (primeiro caso), pesquisa em teses e revistas relacionadas e pesquisa na página de internet dos fabricantes. Ao final, obteve-se que os painéis são fabricados com madeira serrada de coníferas, devido à sua oferta abundante nos locais estudados, e em grandes dimensões, visando reduzir os custos individuais de cada produto pelo aumento da produtividade. Além disso, observou-se que a forma de

solidarização entre as diferentes camadas possui grande influência no processo produtivo. Soluções empregando conexão mecânica como forma de solidarização requerem menor mecanização da produção do que soluções que utilizam exclusivamente adesivos químicos.

Palavras-chave: processamento de madeira, madeira laminada, painéis maciços de madeira, desenho do produto, processo produtivo.

Abstract: *this purpose of this topic is to analyse different possibilities other than CLT, for cross laminated solid timber panels manufacturing. Four case studies on different products were developed: Solid Novatop, Massivholz Mauer, Holz Massive 100 and Wand 5. For each case, forestry context (reserves and forest productivity), product's basic features (wood species used, number of layers, bonding solution and maximum dimensions), factory physical attributes (space, manpower and productivity) and production stages were analysed. Hereafter, the strengths and weaknesses of each design and its implications in the*

production process were identified. The information was obtained through factory visit (first case), research on theses and related magazines and research on the manufacture's website. At the end, it was found that the panels are made of softwood sawn timber, due to its abundant supply in the studied locations, and in large dimensions, in order to reduce the individual costs of each product by increasing productivity. Furthermore, it was observed that the bounding method between the different layers possess great influence on the production process. Solutions that employ mechanical connectors requires less mechanisation than solutions that rely solely on chemical adhesives.

Key-words: *timber processing, laminated timber, solid wood panels, product design, production process.*

2.2.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

2.2.1.1 ALTERNATIVAS AOS LIMITES DO CLT

Na primeira década do século XXI, o continente europeu observou a rápida disseminação do CLT. Sua produção, que no ano 2000 era de apenas 50 mil metros cúbicos, em 2010 já havia atingido a marca 340 mil metros cúbicos anuais (Schickhofer, 2011). Dentre os motivos para a boa aceitação do produto no mercado europeu destacam-se suas vantagens produtivas (como a possibilidade de manufatura de grandes painéis em sistema produtivo amplamente automatizado com foco na pré-fabricação dos elementos construtivos, resultando em maior qualidade e velocidade da construção), seu bom desempenho mecânico e atributos físicos (tais como a grande capacidade de transferência de cargas verticais, resistência a esforços laterais, estabilidade dimensional, bom isolamento térmico e fechamento hermético da construção) e por fim, seu forte apelo ecológico, devido à utilização intensiva de madeira, material proveniente de fonte renovável e que sequestra carbono da atmosfera durante seu crescimento (itens 1.2 e 2.1.6).

No entanto, é possível identificar também pontos negativos no CLT: trata-se de um sistema produtivo com demanda intensiva por capital imobilizado, ou seja, necessita de grande quantidade de investimento em infra-estrutura e maquinaria de produção. Além disso, a prática de a partir de um grande painel obter componentes menores e efetuar recortes para vãos de portas e janelas resulta em perda de material. Não obstante, elementos construtivos em CLT possuem cerca de 1/3 de sua seção disposta perpendicularmente à direção de maior solicitação estrutural, o que pode criar um condição de uso pouco eficiente do material no caso de super-dimensionamento das camadas transversais. Por fim, do ponto de vista ecológico, o uso de adesivo poliuretano, insumo proveniente de fonte não-renovável, mesmo que em pequena quantidade em relação ao peso total do elemento, quando colocado dentro da escala de produção do CLT pode vir a criar um problema ambiental no que se refere à sua obtenção do insumo (item 2.1.6).

Apesar de entre os diversos tipos de painéis maciços em madeira, o CLT ser o produto de maior produção e relevância econômica atualmente, ele não constitui a única opção. Existem diferentes alternativas para a produção de painéis maciços em madeira utilizando o princípio de laminação cruzada sendo executadas por empresas de menor porte e portanto, com menos

disponibilidade de capital, ou ainda com posicionamento ambiental mais rígido, refutando o uso de produtos provenientes de fonte não renováveis. Esses outros produtores procuram de diferentes maneiras solucionar uma ou mais das fraquezas do CLT apontadas anteriormente.

Assim sendo, o intuito deste tópico consiste no esforço de reunir algumas das soluções alternativas para produção de diferentes tipos de painéis maciços em madeira que utilizem o princípio de laminação cruzada, identificando seus pontos positivos e negativos e suas respectivas implicações no sistema produtivo.

2.2.2 OBJETIVO DE PESQUISA

2.2.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O tópico 2.2 visa analisar soluções alternativas ao CLT para a produção de painéis maciços em madeira, que utilizam o princípio da laminação cruzada. Foram definidos os pontos positivos ou negativos dos respectivos projetos e suas implicações no processo produtivo, visando levantar diferentes possibilidades para redução ou superação das fraquezas encontradas no CLT, assim como em outros tipos de painéis maciços em madeira que utilizam o princípio da laminação cruzada.

2.2.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

2.2.3.1 MÉTODO

Foram desenvolvidos quatro estudos de caso sobre diferentes alternativas para a fabricação de painéis maciços que utilizam o princípio de laminação cruzada. O primeiro caso apresentou uma variação sutil em comparação ao CLT, na qual se utilizam lamelas de diferentes espessuras nas camadas externas do painel; o segundo e terceiro caso apresentaram diferentes possibilidades para a produção de painéis maciços sem a utilização de qualquer adesivo químico para a solidarização das camadas cruzadas, por meio de conexão mecânica (pregos e cavilhas, respectivamente); por fim, o último caso analisou uma opção “artesanal” para produção do painel maciço, ou seja, com pouquíssima mecanização e nenhuma automação.

Primeiramente, cada caso foi analisado individualmente do ponto de vista do contexto geográfico local (reservas e produtividade florestal), características

físicas da fábrica (espaço físico, recursos humanos e produtividade) e etapas de produção. A seguir, foi elaborada uma tabela no formato da análise SWOT, relacionando os principais pontos positivos e negativos do produto e suas implicações no processo produtivo. Por fim, foi produzida uma tabela com as características básicas de cada produto estudado a partir da qual foram traçadas as considerações finais sobre o tópico.

As informações relativas ao contexto geográfico foram obtidas em relatórios de levantamento estatístico das regiões na qual se encontravam as fábricas. As informações relativas às características físicas das fábricas e etapas de produção foram obtidas em visita de campo (primeiro caso), na página de internet das empresas e em teses e revistas relacionadas.

2.2.4 NOVATOP SOLID (NS)

2.2.4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA: AGROP NOVATOP

A empresa foi fundada ainda sob a vigência do sistema socialista na República Tcheca e privatizada no ano de 2001. Atualmente possui cerca de 200 trabalhadores. A divisão Novatop emprega 30 funcionários e é responsável pela produção de painéis maciços de 3 camadas, denominados Novatop Solid (NS). Além disso, também são produzidos elementos ocós para construção de pisos e cobertura, denominados Novatop Elements. Ambos os produtos utilizam madeira de árvores coníferas da família Picea, proveniente de reservas florestais da região. Assim como muitas empresas do ramo, a Novatop se encarrega apenas da produção dos painéis de acordo com as especificações de projeto, sem se envolver diretamente na construção dos edifícios, delegando essa função à empresas parceiras.

Figura 2.7a,b. Produtos Novatop: a) Novatop Solid (esquerda), b) Novatop Elements (direita). Fonte: <www.novatop-system.cz>. Acesso em outubro de 2011.

2.2.4.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO DO NS - FÁBRICA EM PTENÍ

2.2.4.2.1 Contexto geográfico

A República Tcheca possui uma área de aproximadamente 7,7 milhões de hectares, sendo que 30% desse total é constituído por florestas (CEIBOIS, 2010). De acordo com o departamento de vendas da Novatop, a produção anual de toras no país gira em torno de 15 a 17 milhões de metros cúbicos. A fábrica da Agrop Novatop está localizada em Ptení, na região de Olomouc, cerca de 250 quilômetros à leste de Praga (figura 2.8).

2.2.4.2.2 A fábrica

Construída em 1992, a Fábrica da Agrop Novatop processa cerca de 60.000¹ metros cúbicos de madeira por ano. Os painéis maciços são produzidos a partir da sobreposição de 3 camadas de lamelas de madeira orientadas perpendicularmente entre si, coladas nas faces e nas laterais com adesivo poliuretano mono-componente que inicia o processo de cura a partir do contato com a umidade do ambiente. As dimensões máximas, sem emendas, são de 2,5 metros de largura por 6 metros de comprimento, nas espessuras de 27, 42 ou 62 milímetros, sendo que as camadas externas possuem sempre lamelas com 9 milímetros de espessura (figura 2.9).

Figura 2.8. Localização da Fábrica Novatop sobre mapa de cobertura florestal. Fonte: adaptado de Schuck, et al, 2002; Google, 2011.

1 <www.novatop-system.cz>. Acesso em outubro de 2011.

De acordo com a função que exercerão na construção (parede ou piso) os elementos produzidos a partir do painéis NS utilizam-se das diferentes espessuras básicas em diferentes arranjos. Ou seja, unindo mais de um painel quando necessário. A tabela 2.3, contém os arranjos padrão para parede e piso.

Tabela 2.3. Arranjos das camadas de lamelas e função dos componentes NS.

Função	Espessura (mm)	Número de camadas	Arranjo dos painéis
Parede	62	3	9-44-9
	84	6	9-24-9 / 9-24-9
	124	6	9-44-9 / 9-44-9
Piso	81	9	9-9-9 / 9-9-9 / 9-9-9
	84	6	9-24-9 / 9-24-9
	116	9	9-9-9 / 9-44-9 / 9-9-9

Fonte: www.novatop-system.cz. Acesso em outubro de 2011.

2.2.4.2.3 Etapas de produção

As etapas para produção do Novatop Solid na Agrop Novatop são as seguintes:

Figura 2.9. Seções dos painéis NS. Fonte: www.novatop-system.cz. Acesso em outubro de 2011.

1. Corte e gradação: as peças de madeira serrada de coníferas (gênero *Picea*), chegam à fábrica no formato pranchas e com teor de umidade em 8%. Elas são cortadas em lamelas por serra automatizada (figura 2.10a) e classificadas visualmente por dois funcionários, que as separam em diferentes pilhas de acordo com a ocorrência de falhas e nós superficiais, (figura 2.10b).
2. Colagem lateral: as lamelas, agrupadas em pilhas, são colocadas em uma esteira (figura 2.11a) e recebem adesivo poliuretano em suas faces laterais (figura 2.11b).
3. Colagem das faces e prensagem: as lamelas são dispostas lado a lado na mesa de laminação. Uma camada de adesivo poliuretano é borrifado na face das peças (figura 2.12a) e, com o auxílio de uma grua à vácuo, a camada é transportada para a prensa (figura 2.12b). O procedimento é repetido para a segunda e terceira camada
4. Prensagem: Após a sobreposição de duas camadas, estas são prensadas a

Figura 2.10a, b. Etapa 1: a) lamelas cortadas por serra automatizada (esquerda); b) separação das lamelas de acordo com a ocorrência de falhas e nós (direita).

Figura 2.11a, b. Etapa 2: a) pilhas de lamelas são colocadas na esteira (esquerda); b) adesivo poliuretano é borrifado na lateral das peças (direita).

frio durante alguns minutos por uma prensa com 6 metros de comprimento e 2,5 metros de largura (figura 2.13a). Depois que a prensa sobe, dois funcionários pregam as bordas das lamelas pra evitar que estas saiam do lugar na continuação do processo (figura 2.13b). Repete-se o procedimento para a terceira camada.

5. Secagem: após a prensagem das 3 camadas, os painéis seguem para prateleiras de secagem, onde permanecem por algumas horas até a cura do adesivo. Vale observar que cada painel possui no topo uma cobertura de borracha que é tensionada em cada extremidade da prateleira visando manter o painel pressionado e assim, evitar o afastamento das lamelas (figura 2.14).

6. Acabamento da superfície: o painel seco é transportado para uma mesa onde dois funcionários trabalham consertando eventuais buracos e imperfeições nas superfícies visíveis. Enquanto um funcionário fura os locais onde há falhas, o outro fixa cavilhas nos buracos (figura 2.15a). A seguir, as frestas entre os buracos e as cavilhas são calafetadas com massa plástica. O

Figura 2.12a, b. Etapa 3: a) adesivo poliuretano borrifado na camada de lamelas justapostas (esquerda); b) a camada de lamelas é transportada para mesa de prensagem (direita).

Figura 2.13a, b. Etapa 4: a) prensagem das camadas de lamelas (esquerda); b) funcionários pregando as bordas do painel pra evitar movimentações das lamelas (direita).

painel é então girado 180 graus (figura 2.15b) e repete-se o procedimento para a outra face.

7. Acabamento e corte: as superfícies visíveis são lixadas e o painel é cortado nas dimensões padrões por meio de serra automatizada controlada por computador (CNC) (figura 2.16).

8. Montagem dos painéis: Os painéis acabados são cortados em elementos menores de acordo com o projeto por serra CNC (figura 2.17a). As diferentes camadas são então fixadas umas às outras por meio de cavilhas de madeira e

Figura 2.14. Etapa 5: bandejas para secagem dos painéis.

Figura 2.15a, b. Etapa 6: a) funcionários corrigindo imperfeições de uma das faces visíveis (esquerda); b) painel é girado 180 graus para que tenha início o trabalho na outra face visível (direita).

adesivo poliuretano (figura 2.17b).

9. Prensagem das camadas: as camadas sobrepostas são prensadas à frio; obtendo-se então um elemento construtivo Novatop Solid Wall (figua 2.18).

2.2.4.3 OBSERVAÇÕES

O tamanho máximo de 6 metros de comprimento é justificado por dois motivos: 1) de acordo com o que foi observado no estudo de caso da Mayr Melnhof Holz, sabe-se que quanto maior a prensa maior será a energia gasta

Figura 2.16. Etapa 7: painéis lixados e cortados nas dimensões padrão.

Figura 2.17a, b. Etapa 8: a) painéis são cortados por serra CNC (esquerda); b) dois funcionários fixam as diferentes camadas umas às outras com cavilhas e adesivo poliuretano (direita).

por ela e, portanto, mais caro custará o produto. Assim sendo, o aumento indiscriminado da dimensão da prensa atingiria um ponto em que se tornaria inviável a produção do painel por razões econômicas; 2) os painéis Novatop não possuem emendas nas faces visíveis, ou seja, são utilizadas lamelas com 6 metros de comprimento. Desse modo, se fossem produzidos painéis maiores seria mais difícil e custoso adquirir madeira com a mesma qualidade e em maior comprimento, o que obrigaria a empresa a executar juntas no sentido longitudinal entre as lamelas. Nesse caso, seria necessário modificar a logística da produção e efetuar investimento em novas máquinas o que, de acordo com o departamento de vendas da empresa, dada a demanda atual pelo produto, não resultaria em retorno econômico suficiente para justificar essas mudanças.

Como o adesivo poliuretano precisa de água para que ocorra reação química de colagem e a madeira utilizada possui baixo teor de umidade, foi observado a necessidade de umidificar o ambiente da fábrica para que possam ser montados os elementos construtivos (etapas 8 e 9). Por esse motivo, são instalados umidificadores no teto do galpão de produção para controlar a

Figura 2.18. Etapa 9: prensagem das camadas para obtenção do elemento construtivo (esquerda).

Figura 2.19. Galpão de montagem do elemento Novatop Solid com umidificadores no teto (direita).

umidade do ambiente, visando melhorar a colagem dos diferentes painéis que formarão um elemento construtivo (figura 2.19).

Em relação à colagem lateral, esta é justificada pela empresa como forma de tornar as paredes totalmente herméticas, uma característica fundamental para uma construção eficiente do ponto de vista energético em locais de clima mais frios. Como mencionado no tópico 2.1 (item 2.1.5.3), no caso do CLT produzido pela Stora Enso, essa solução pode gerar grande número de fissuras devido à retração da madeira em função da variação na umidade relativa do ar. No entanto, como foi verificado na visita à Agrop Novatop, não há fissuras no Novatop Solid. Isso decorre de um atributo do projeto do produto e uma condição do processo produtivo: no primeiro, a pouca espessura das lamelas nas camadas externas (9 milímetros) gera menos deformação do que no CLT, diminuindo o valor absoluto da retração; no segundo, o baixo teor de umidade das lamelas no momento da laminação (8%) faz com que o painel, em condições normais, seja utilizado sempre em ambientes cujo teor de umidade relativa será igual ou maior a 8%², não havendo assim retração das lamelas e sim dilatação.

2.2.4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O NS

A tabela 2.4 apresenta a análise SWOT, sintetizando as informações sobre o processo produtivo do NS relacionando seus pontos fortes, fracos e suas respectivas oportunidades e ameaças.

Do ponto de vista da matéria-prima, observa-se a necessidade de utilização das lamelas classificadas de acordo com a ocorrência de falhas e nós (figura 2.10). Com relação ao teor de umidade da madeira, nota-se a necessidade valores mais baixos que os encontrados no CLT visando minimizar os efeitos da variação de umidade na face externa do painel (item 2.2.4.3).

O processo produtivo apresenta elevado grau de mecanização (à exceção da etapa 6), porém, possui menor automação em comparação ao CLT produzido pela MMH (foram contados 16 funcionários trabalhando na linha de produção do NS). Além disso, a utilização de prensagem à frio reduz o investimento em maquinaria, porém, adiciona etapa de secagem ao processo produtivo (etapa 5).

A utilização de lamelas com 9 milímetros de espessura na superfície do

² De acordo com a DIN 1052, o valor de umidade relativa a ser considerado para ambientes fechados e com aquecimento é igual a 9% +/-3 (cf. Volz, 2008.)

painel faz com que a quantidade de material orientado perpendicularmente à principal direção de carga seja um pouco mais baixo do que no CLT (de 29 a 33% para os painéis individuais). No entanto, a utilização de camadas tão finas adiciona uma etapa de re-trabalho ao processo (etapa 6), pois podem surgir buracos e falhas durante o beneficiamento das lamelas e fabricação do painel.

A colagem lateral das lamelas cria um painel totalmente hermético, porém, é possível supor que a quantidade de adesivo poliuretano utilizado aumente.

Por fim, as perdas de material decorrente da divisão dos painéis em elementos menores e abertura de vãos para janelas e portas, à exemplo do CLT, produzem peças de tamanho reduzido que não serão utilizadas na construção e devem ser descartadas ou queimadas para geração de energia.

Tabela 2.4. Análise “SWOT” do processo produtivo do NS.

Pontos fortes (Strengths)	Pontos fracos (Weaknesses)
1. Utilização de madeira com baixo teor de umidade (8%).	1. Controle rigoroso da matéria-prima e condições de umidade da unidade produtiva.
2. Processo produtivo com elevado grau de mecanização e de automação.	2. Demanda por largas quantias de investimento em infra-estrutura de produção.
3. Produção de painéis em grandes dimensões (3 x 6 metros) a partir dos quais são recortados os elementos construtivos.	3. Recortes de vão referentes a portas e janelas são efetuados nos painéis acabados de acordo com o projeto arquitetônico.
4. Utilização de lamelas sem emendas nas faces externas dos painéis.	4. Necessidade de obtenção de peças longas (6 metros) com qualidade para camadas externas.
5. Utilização de lamelas transversais com 9 milímetros de espessura.	5. Retrabalho nas camadas exteriores de 9 milímetros para fins estéticos.
6. Fabricação de painéis com apenas 3 camadas de lamelas prensadas à frio.	6. Prensagem à frio adiciona duas etapas ao processo produtivo: cura do adesivo e junção de painéis .
7. Utilização de adesivo poliuretano na face e na lateral das lamelas.	7. É necessário maior quantidade de adesivo poliuretano.

continua na página seguinte...

... continuação da tabela 2.4.

Oportunidades (Opportunities)	Ameaças (Threats)
1. Limitação da ocorrência de trincas por retração tangencial das lamelas devido à utilização do produto em ambientes onde a madeira apresentará teor de umidade superior.	1. Necessidade de utilizar apenas madeira bem seca em estufa pode agregar mais valor à matéria-prima, transferindo esse aumento ao custo final do produto.
2. Aumento da produtividade e redução dos custos de mão-de-obra.	2. Falta de flexibilidade produtiva devido ao aumento do capital imobilizado.
3. Ganho com economia de escala e alto nível de pré-fabricação de elementos.	3. Geração de resíduo de material decorrente da divisão dos painéis em elementos menores e do recorte de vãos (portas e janelas).
4. Não são necessário etapas adicionais para realização de juntas longitudinais nas lamelas, como finger-joint.	4. Limitação da dimensão máxima devido à dificuldade de obtenção de peças longas com qualidade e a um custo acessível.
5. Boa estabilidade dimensional e resistência à esforços laterais.	5. Adição de uma etapa “artesanal” (etapa 6) que limita a velocidade de produção e adiciona valor ao custo final individual do produto.
6. Prensa mais simples e, portanto, que demanda menor investimento.	6. Limitação da velocidade do processo produtivo (etapa 5) e uso menos eficiente do material, devido à sobreposição de duas camadas transversais (etapas 8 e 9).
7. Fechamento totalmente hermético do painel, resultando em uma construção mais eficiente do ponto de vista energético; fácil usinagem posterior.	7. Utilização em larga escala pode resultar em problemas ambientais.

2.2.5 MASSIV HOLZ MAUER (MHM)

2.2.5.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA: HUNDEGGAR MASCHINENBAU GMBH

Empresa fundada por Hans Hundegger em 1978 que atua na fabricação de máquinas para beneficiamento secundário de madeira. Defini-se como a

líder mundial do ramo, com uma parcela de 90% do mercado no segmento de serras controladas numericamente por computador (CNC) utilizadas para usinagem de juntas, construções maciças e pré-fabricação de casas em madeira. Atualmente possui cerca de 4000 máquinas distribuídas por 42 países (na Europa, Ásia, América do Norte, Sul e Oceania)³.

2.2.5.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO – FÁBRICA EM HAWANGEN

2.2.5.2.1 Contexto geográfico

A Alemanha possui uma área de quase 35 milhões de hectares, dos quais 10 milhões de hectares são constituídos por áreas florestais (CEIBOIS, 2010). A Bavaria, com aproximadamente 7 milhões de hectares, é o maior Estado da Alemanha e representa 20% da área do país. O Estado também concentra a maior área florestal nacional, com cerca de 1/3 de seu território sendo constituído de florestas⁴. A fábrica da Hundegger situa-se em Hawangen, 100 quilômetros ao sudoeste de Munique, capital da Bavaria, (figura 2.20).

2.2.5.2.3 Etapas de produção

2.2.5.2.2 A fábrica

Figura 2.20. Localização da Hundegger Maschinenbau GmbH sobre mapa de cobertura florestal. Fonte: adaptado de Schuck, et al, 2002; Google maps, 2011.

3 <<http://www.hundegger.de>>. Acesso em outubro de 2011.

4 <<http://www.bayern.de>>. Acesso em outubro de 2011.

A fábrica da Hundegger emprega cerca de 300 funcionários. Devido à linha de produção do MHM é constituída por apenas três máquinas produzidas pela Hundeggear Maschinenbau GmbH: máquina perfiladora automática (para a preparação das lamelas), máquina Wall Master (desenvolvida especificamente para montagem dos painéis MHM) e serra CNC (para recorte/usinagem dos painéis). A tabela 2.5 sintetiza as características básicas do painéis MHM produzidos pela Hundegger.

Tabela 2.5. Características básicas do painel MHM.

Dimensões máximas do painel	
Comprimento	até 6 m
Largura	até 3,25 m
Espessura	70 – 360 mm
Número de camadas	5 – 15
Dimensões das lamelas	
Largura	140 – 260 mm
Espessura	23 mm
Madeira utilizada (gênero)	<i>Picea, Pinus, Abies</i>

Fonte: adaptado de Brigola, 2010.

Figura 2.21. Seção e vista superior do painel MHM com 5 camadas. Fonte: adaptado de Massiv Holz Mauer Entwicklungs GmbH, 2011.

De acordo com o vídeo disponível na página de internet da Hundegger⁵, o processo produtivo dos painéis MHM consiste em 3 etapas:

Figura 2.22a, b. Etapa 1: a) funcionário abastecendo a perfiladora de madeira (esquerda); b) perfil final das lamelas (direita). Fonte: Hundegger Maschinenbau GmbH, 2011.

Figura 2.23a, b. Etapa 2: a) Trilho para abastecimento e fixação das lamelas (esquerda); b) lamela sendo fixada com pregos de alumínio e regularizada na face lateral (direita). Fonte: Hundegger Maschinenbau GmbH, 2011.

Figura 2.24a, b. Etapa 3: a) painel sendo cortado na serra CNC (esquerda); b) execução de canaleta para instalações elétricas (direita). Fonte: Hundegger Maschinenbau GmbH, 2011.

⁵ <<http://www.hundegger.de/en/machine-building/products/massiv-holz-mauer.html>>. Acesso em outubro de 2011.

1. Abastecimento e perfilamento das lamelas: lamelas de madeira serrada provenientes de árvores coníferas são fornecidas para a fábrica com teor de umidade igual a 14%. Um funcionário introduz as lamelas na máquina perfiladora (figura 2.22a). A figura 2.22b mostra o tipo de perfil obtido nas lamelas após a passagem pela máquina.

2. Disposição das camadas e montagem do painel: um funcionário abastece as lamelas na máquina Wall Master. As lamelas perfiladas são utilizadas apenas no sentido transversal ao painel; para o sentido longitudinal são utilizadas lamelas aplainadas simples sem perfilamento. Um trilha coloca cada lamela na posição correta de acordo com a camada que estiver sendo executada (figura 2.23a). Um segundo trilha pressiona a peça tanto na face quanto na lateral, enquanto uma pistola automática prega a lamela na camada inferior com duas linhas de pregos anelados de alumínio em um arranjo diagonal. Simultaneamente, a lateral menor (que irá receber a próxima lamela) é regularizada por uma pequena fresa (figura 2.23b).

3. Usinagem do painel: o painel pregado segue para a serra CNC, primeiramente, tem sua superfície lixada e em seguida, é recortado nas dimensões finais do elemento que se pretende obter (figura 2.24a); são também recortados os vãos para janelas, portas e canaletas para instalações elétricas (figura 2.24b).

2.2.5.3 OBSERVAÇÕES

As ranhuras executadas na face das lamelas orientadas transversalmente ao painel tem o objetivo de diminuir a área de contato entre as diferentes camadas, criando “bolsões” de ar para aumentar o nível de isolamento térmico do painel.

Entretanto, a diminuição da área de contato direto entre duas camadas, torna a colagem das lamelas menos eficiente. Por esse motivo, a fixação das lamelas é feita mecânicamente por meio de pinos metálicos. São utilizados pregos de alumínio, pois caso fossem de aço poderiam dificultar a posterior usinagem do painel, demandando ferramentas de corte (serras, fresas, etc) específicas para aço. Todavia, cabe ressaltar que apesar de serem utilizados pregos de alumínio é necessário o uso de ferramentas de corte com maior teor de carbono do que se utilizaria para madeira serrada comum.

Tabela 2.6. Análise SWOT do processo produtivo do MHM.

Pontos fortes (Strengths)	Pontos fracos (Weaknesses)
<div>1. Processo produtivo com elevado grau de mecanização e automação.</div> <div>2. Produção painéis em grandes dimensões (3.25 x 6 metros), a partir dos quais são recortados os elementos construtivos.</div> <div>3. Utilização de lamelas com ranhuras longitudinais e juntas sobrepostas nas laterais.</div> <div>4. Rigidez conferida pela camada cruzada.</div> <div>5. Utilização de pregos anelados de alumínio.</div>	<div>1. Demanda por largas quantidade de investimento em infra-estrutura de produção.</div> <div>2. Recortes de vão referentes a portas e janelas são executados em painéis acabados de acordo com o projeto arquitetônico.</div> <div>3. Execução das ranhuras adiciona uma etapa ao processo produtivo e demanda uma máquina específica.</div> <div>4. Camada transversal não atua diretamente na transferência das cargas verticais.</div> <div>5. Pregos em alumínio podem representar um problema para a usinagem dos painéis à posteriori.</div>
Oportunidades (Opportunities)	Ameaças (Threats)
<div>1. Aumento da produtividade e redução dos custos de mão-de-obra.</div> <div>2. Ganho com economia de escala e alto nível de pré-fabricação de elementos.</div> <div>3. Diminuição da pontes térmicas e fechamento hermético mesmo no caso de retração tangencial das lamelas.</div> <div>4. Boa estabilidade dimensional e resistência à esforços laterais.</div> <div>5. Não requer prensagem.</div>	<div>1. Falta de flexibilidade devido ao aumento do capital imobilizado.</div> <div>2. Geração de resíduo de material decorrente da divisão dos painéis em elementos menores e do recorte de vãos (portas e janelas).</div> <div>3. Adição da etapa de perfilamento das lamelas (etapa 1) aumenta o tempo de produção e o investimento em maquinaria.</div> <div>4. Pode resultar em uso pouco eficiente do material na seção transversal no caso de super-dimensionamento.</div> <div>5. Pregos em alumínio requerem a utilização de ferramentas de corte com maior teor de carbono e podem causar um desgaste precoce das serras.</div>

possível devido à solução de solidarização das camadas perpendiculares por meio de pregos ao invés de adesivo químico. Isso permite a movimentação lateral das lamelas sem resultar em fissuras, mantendo o fechamento. Como as lamelas estão simplesmente pregadas, elas podem movimentar-se lateralmente de acordo com a variação no seu teor de umidade, diminuindo assim a chance de ocorrência de fissuras. Entretanto, são executadas juntas sobrepostas nas laterais das lamelas, para que em caso de retração não apareçam frestas entre as lamelas, visando assim garantir o fechamento hermético do painel (figura 2.25).

2.2.5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O MHM

A tabela 2.6 apresenta a análise SWOT, sintetizando as informações sobre o processo produtivo do MHM, relacionando seus pontos fortes, fracos e suas respectivas oportunidades e ameaças.

Do ponto de vista da matéria-prima, observa-se a utilização de lamelas com teor de umidade superior ao CLT e NS, (itens 2.1.5.2.3 e 2.2.4.2.3). A utilização de lamelas com 14% de umidade para produção do MHM é hermético do painel devido às juntas sobrepostas nas faces laterais.

O processo de produção é totalmente mecanizado e apresenta alto grau de automação. Entretanto, pode-se supor que o investimento em maquinaria seja menor que no CLT ou NS, pois, como não é utilizado nenhum tipo de adesivo, não é necessário a utilização de prensa (quente ou fria) ao longo do processo.

Assim como foi observado no CLT (item 2.1.5.4), a utilização da mesma espessura nas camadas longitudinal e transversal resulta em uma situação na qual parte da seção do painel, variando de 40 a 46,6% no caso do MHM em função do número de camadas, não atua na direção de maior solicitação estrutural o que pode resultar em uso pouco eficiente do material caso haja super-dimensionamento das camadas transversais.

Figura 2.25. Diagrama de deformação no MHM devido à retração tangencial das lamelas.

2.2.6 HOLZ 100 (H100)

2.2.6.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA: THOMA HOLZ GMBH

Fundada pelo Engenheiro Erwin Thoma, a empresa tem cerca 20 anos e atua, principalmente, no mercado de casas unifamiliares. A Thoma Holz GmbH dá grande destaque ao potencial ecológico de seus produtos devido ao fato de serem constituídos unicamente por madeira. Portanto, não utilizam materiais tóxicos e/ou com origem em fontes não renováveis (como no caso de adesivos químicos e conectores metálicos, respectivamente), resultando em um produto de fácil descarte e reciclagem. Não obstante, ressalta-se o fato de somente ser empregada madeira proveniente de árvores tombadas no período da lua nova/minguante que, devido à menor quantidade de seiva, apresentariam durabilidade natural mais elevada dispensando o o tratamento contra insetos ou fungos⁶. Todas essas características, de acordo com a empresa, resultariam em uma construção mais confortável e saudável para o usuário.

2.2.6.2 ANÁLISE DA PRODUÇÃO – FÁBRICA EM GOLDEGG

2.2.6.2.1 Contexto geográfico

A Thoma Holz GmbH localiza-se na província de Salzburgo, em Goldegg, cerca de 350 quilômetros ao sudoeste de Viena (figura 2.26). O Estado apresenta o terceiro maior percentual de área florestal no país (51%) e contribui em termos absolutos com 376 mil hectares, representando quase

Figura 2.26. Localização da Thoma Holz GmbH sobre mapa de cobertura florestal. Fonte: adaptado de Schuck, et al, 2002; Google maps, 2011.

6 <<http://www.thoma.at/>>. Acesso em outubro de 2011.

10% do total de florestas na Áustria⁷. Além disso, faz divisa com os Estados da Áustria Alta, Estíria, ao nordeste e leste, respectivamente, que juntos concentram quase 50 % da área florestal austríaca; ao norte, faz divisa com o Estado da Bavaria, que detém a maior parcela de cobertura florestal na Alemanha (item 2.2.5.2.1).

2.2.6.2.2 A fábrica

A fábrica em Goldegg produz painéis Holz 100, compostos por um núcleo central com peças de 60 a 80 milímetros de espessura, orientado longitudinalmente em relação ao painel e três ou mais camadas de lamelas de madeira, sobrepostas perpendicular e diagonalmente entre si, com espessura entre 24 e 50 milímetros. Todas as peças de madeira serrada utilizadas contém teor de umidade em torno de 10% no momento da fabricação. Os painéis Holz 100 podem ser utilizados como componentes para cobertura, piso e parede na construção. De acordo com a finalidade, varia-se a composição, número de camadas e, conseqüentemente, a espessura do painel. Por exemplo, o painel mais robusto para utilização como parede é composto por 10 camadas de lamelas e uma camada contendo o núcleo central (na seguinte ordem: longitudinal - transversal - diagonal - transversal - diagonal - núcleo central longitudinal - diagonal - transversal - diagonal - transversal - longitudinal), enquanto o menos robusto é composto por apenas 4 camadas (transversal - diagonal - núcleo central longitudinal - transversal). A figura 2.27 apresenta esses dois tipos de painel em perspectiva isométrica.

Independentemente da espessura dos painéis, as diversas camadas são fixadas umas às outras unicamente por meio de cavilhas de madeira folhosa (espécie *Fagus sylvatica*), com 16 a 21 milímetros de diâmetro, na concentração de 20 a 25 cavilhas por metro quadrado. As cavilhas percorrem todas as camadas do painel e são pressionadas hidraulicamente em furos com diâmetro

Figura 2.27. Composição das camadas nos painéis H100 empregados como elementos verticais: painel com 10 camadas (esquerda); painel com 4 camadas (direita). Fonte: adaptado de Thoma Holz GmbH, 2011.

7 <<http://web.bfw.ac.at/>>. Acesso em novembro de 2011.

aproximadamente 0.5 milímetros menor, visando melhorar sua fixação (figura 2.28). Além disso, as cavilhas utilizadas possuem teor de umidade um pouco menor que as lamelas de madeira (8%), o que faz com que, após fixadas, elas absorvam parte da umidade da madeira ao redor e sofram dilatação, resultando em uma solidarização duradoura.

Adicionalmente, em todos os componentes H100 utilizados no perímetro externo da construção é fixada uma membrana hidrófuga (que atua como barreira contra vento, poeira e vapor d'água) colocada ainda durante a produção do painel, localizada entre a primeira e a segunda camada de lamelas a partir do lado voltado ao exterior da construção (figura 2.27).

Nas lamelas das camadas intermediárias do painel são executadas ranhuras com 2 milímetros de profundidade por 20 milímetros de largura nas faces maiores (figura 2.28), visando reduzir as pontes térmicas, aumentando a capacidade de isolamento térmico do painel.

A tabela 2.7 sintetiza as principais características dos componentes H100 produzidos pela Thoma Holz.

Tabela 2.7. Características básicas do painel H100.

Dimensões máximas do painel	
Comprimento	até 8 m
Largura	até 3 m
Espessura	120 – 364 mm
Número de camadas	4 – 11
Dimensões das lamelas	
Largura	>100 mm
Espessura (hor., long. e diag.)	24 – 50 mm
Espessura (núcleo central)	60 – 80 mm
Madeira utilizada (gênero)	
Camadas internas	Abies, Larix, Picea, Pinus
Camadas externas	Abies, Picea, Pinus, Pinus cembra

Fonte: adaptado de Brigola, 2010.

Figura 2.28. Seção da lamela com ranhuras para melhorar o desempenho térmico do painel. Fonte: adaptado de Thoma Holz GmbH, 2011.

2.2.6.3 OBSERVAÇÕES

As ranhuras executadas nas faces das lamelas tem o objetivo de diminuir a área de contato entre as diferentes camadas, criando “bolsões” de ar e assim aumentar o nível de isolamento térmico do painel. No entanto, devido à diminuição da área de contato direto entre as camadas, a colagem das lamelas seria menos eficiente. Além disso, a não utilização de adesivos químicos corrobora com a orientação ideológica da empresa que defende a utilização exclusiva de matéria-prima proveniente de fontes renováveis e não-tóxicas. Por esses motivos, a fixação das lamelas é realizada mecanicamente, por meio de cavilhas de madeira.

Caso fossem utilizados pregos (como observado no painel MHM) ou outro tipo de conector metálico, estes não poderiam ultrapassar todas as camadas do painel a fim de evitar a criação de pontes térmicas; não obstante, dependendo do material empregado, a posterior usinagem do painel poderia ser comprometida ou requerer ferramentas de corte (serras, fresas, etc) especiais. A utilização de cavilhas de madeira soluciona esses problemas, porém, devido ao arranjo linear das cavilhas em cada lamela (figura 2.29), a rigidez lateral do conjunto é prejudicada. Assim sendo, é necessário a disposição de camadas diagonais visando fortalecer o painel

Figura 2.29. Vista superior com localização das cavilhas (topo) e seção do painel mais robusto (baixo). Fonte: adaptado de Thoma Holz GmbH, 2011.

contra esforços laterais. Todavia, isto resulta em uma situação na qual a maior parte da seção (constituída pelas camadas horizontais e diagonais) não atua diretamente na transmissão das cargas verticais. Por esse motivo, é necessário o estabelecimento de núcleo central robusto atuando na direção de maior solicitação estrutural.

Como as lamelas estão fixadas por cavilhas, elas podem movimentar-se lateralmente de acordo com a variação na teor de umidade da madeira, o que diminui a chance de ocorrência de fissuras (figura 2.30). No entanto, isso poderia levar ao surgimento de pequenas brechas devido à retração das lamelas, o que prejudicaria o fechamento hermético do painel, afetando assim o desempenho térmico da construção. Por isso, em todos os componentes utilizados no perímetro externo da construção, é necessário a instalação de membrana hidrófuga, colocada entre a primeira e segunda camada do painel (figura 2.27).

2.2.6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O H100

A tabela 2.8 apresenta a análise SWOT, sintetizando as informações sobre o processo produtivo do H100, relacionando seus pontos fortes, fracos e suas respectivas oportunidades e ameaças.

Em relação à matéria-prima é fundamental o controle do teor de umidade das lamelas e das cavilhas de madeira, visando obter conexões confiáveis entre as peças. Nos painéis H100, devido à grande quantidade de madeira utilizada em um elemento, a qualidade individual das lamelas não tem influência preponderante, pois espera-se um desempenho satisfatório do conjunto.

Figura 2.30. Diagrama de deformação no H100 devido à retração tangencial das lamelas.

Tabela 2.8. Análise SWOT do processo produtivo do H100.

Pontos fortes (Strengths)	Pontos fracos (Weaknesses)
<p>1. Utilização de madeira com baixo teor de umidade (lamelas 10%; cavilhas 8%).</p> <p>2. Produção painéis em grandes dimensões (3 x 8 metros), a partir dos quais são recortados os elementos construtivos.</p> <p>3. Utilização de lamelas com ranhuras longitudinais.</p> <p>4. Utilização de cavilhas de madeira para junção das camadas.</p> <p>5. Rigidez lateral conferida pelas camadas transversal e diagonal.</p> <p>6. Utilização de manta hidrófuga no painéis utilizados no exterior da construção</p>	<p>1. Controle rigoroso do teor de umidade da madeira e das condições de umidade da unidade produtiva.</p> <p>2. Recortes de vão referentes a portas e janelas são efetuados em painéis acabados de acordo com o projeto arquitetônico.</p> <p>3. Execução das ranhuras adiciona uma etapa ao processo produtivo.</p> <p>4. As linhas cavilhas sozinhas não conseguem proporcionar a rigidez contra esforços laterais que o painel necessita.</p> <p>5. Camadas transversal e diagonal não atuam diretamente na transferência das cargas verticais.</p> <p>6. Utilização de material não madeireiro no painéis utilizados no exterior da construção.</p>
Oportunidades (Opportunities)	Ameaças (Threats)
<p>1. Boa resistência contra o ataque de agentes biológicos; encaixe confiável entre as lamelas e cavilhas devido à dilatação das últimas pela absorção de parte da umidade presente nas primeiras.</p> <p>2. Ganho com economia de escala e alto nível de pré-fabricação de componentes.</p> <p>3. Diminuição da pontes térmicas resultando em aumento da capacidade de isolamento do painel.</p>	<p>1. Necessidade de utilizar apenas madeira seca em estufa pode agregar valor à matéria-prima, transferindo esse aumento ao custo final do produto.</p> <p>2. Geração de resíduo de material decorrente da divisão dos painéis em elementos menores e do recorte de vãos (portas e janelas).</p> <p>3. Adição da etapa de perfilamento das lamelas aumenta o tempo de produção e o investimento em maquinaria.</p>

continua na página seguinte...

... continuação da tabela 2.8.

<p>4. Não requer prensagem e tempo de secagem; fácil usinagem do painel; não apresenta problemas de descarte ou reciclagem pois utiliza apenas material natural proveniente de fonte renovável.</p> <p>5. Boa estabilidade dimensional e resistência à esforços laterais.</p> <p>6. Garantia do fechamento hermético dos painéis mesmo em caso de retração das lamelas.</p>	<p>4. Necessidade de adicionar camadas diagonais visando reforçar o painel contra esforços laterais.</p> <p>5. Maior parte da seção do painel encontra-se orientada de maneira pouco eficiente para a transmissão das cargas na direção de maior solicitação.</p> <p>6. Pode dificultar a reciclagem posterior do componente.</p>
---	---

A utilização exclusiva de madeira no painel é uma vantagem do ponto de vista ambiental, pois evita a utilização de materiais provenientes de fontes não renováveis (como o adesivo poliuretano), além de simplificar o descarte e/ou reciclagem do componente à posteriori. Todavia, a fixação por meio de cavilhas organizadas linearmente não oferece a mesma rigidez que os adesivos ou pregos. Assim sendo, devem ser utilizadas camadas de lamelas diagonais visando aumentar a resistência contra esforços laterais. Isso gera uma situação na qual a maior parte do material empregado (de 51% a 66,6%, variando de acordo com o número de camadas) no painel não esta orientado da maneira mais eficiente à transmissão das cargas verticais, o que resulta na necessidade de uma camada central robusta disposta longitudinalmente ao painel, reforçando a estrutura na direção de maior solicitação.

No H100, a prática de a partir de um grande painel efetuar as aberturas de portas e janelas resulta em perda de material, variando de acordo com cada projeto. Muito embora as peças recortadas possam ser facilmente recicladas ou utilizadas como biomassa para geração de energia, há um desperdício de recursos na medida em estas peças passam por todo o processo de beneficiamento da serraria e usinagem na fábrica.

2.2.7 MASSIV WAND 5 (MW5)

2.2.7.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA: HOLZBAUWEISSEN FÜR DEN VERDICHTETEN WOHNBAU

2.2.7.1.1 Introdução

Após a revisão do código de obras de Viena em abril de 2001, a construção mista entre madeira e outros materiais passou a ser permitida para edificações de até cinco pavimentos (quatro pavimentos de madeira sobre um pavimento de material mineral com alta resistência ao fogo), resultando na ampliação das possibilidades para a aplicação da madeira em construções de maior altura e densidade na Áustria.

Nesse contexto, diante da limitada existência de exemplos de edificações multi-pavimentos em madeira nos países de língua alemã até aquele momento, surgiu a demanda para pesquisa e desenvolvimento sobre o projeto e construção dessas tipologias. Visando o sucesso da iniciativa no setor da construção era necessário não apenas avaliar o desempenho físico mas também o custo das estruturas mistas de madeira, oferecendo soluções competitivas com as soluções convencionais de estruturas de concreto e tijolo, líderes de mercado nesse segmento⁸.

Assim sendo, a *Vienna University of Technology* (TUWIEN) apresentou um projeto de pesquisa com duração de um ano, no qual diferentes alternativas tecnológicas para a construção de paredes portantes e pisos em madeira pudessem ser examinadas e comparadas tanto no âmbito estrutural quanto econômico. A pesquisa foi denominada *Holzbauweissen für den verdichteten Wohnbau* (Construção Em Madeira Para Habitação De Alta-Densidade) e desenvolvida dentro do programa *Haus der Zukunft* (Casa do futuro).

2.2.7.1.2 O escopo da pesquisa:

O trabalho *Holzbauweissen für den verdichteten Wohnbau* concentra-se no desempenho estrutural (relativo às altas cargas estáticas, cargas dinâmicas no caso de terremotos, isolamento sonoro, proteção contra fogo e conseqüências da umidade dentro da habitação devido à ocupação humana) e econômico (relativo ao custo das soluções em comparação com soluções convencionais para habitação de alta densidade) dos componentes considerados críticos para a construção habitacional multi-pavimentos em madeira: paredes

8 Winter et al, 2001

exteriores e pisos intermediários.

2.2.7.1.3 Método da pesquisa:

A primeira etapa da pesquisa realizada pela TUWIEN consistiu na análise do repertório de soluções existentes para construções multi-pavimentos em madeira. Na segunda etapa, realizada simultaneamente com a primeira, foram desenvolvidos experimentos visando obter informações básicas sobre a propagação sonora e migração de umidade em construções de madeira. Em seguida, a terceira etapa abrangeu o desenvolvimento e comparação de custos de diversas opções técnicas para a construção de elementos verticais e horizontais (paredes exteriores e pisos intermediários) com uma ou mais cavidades internas e maciços. Todas as opções desenvolvidas na pesquisa mencionada foram pensadas para um projeto habitacional de cinco pavimentos, com 150 unidades, previsto para realização em Viena pela *Sozialbau*, uma organização sem fins lucrativos relacionada à construção na Áustria. Em relação às opções para elementos construtivos verticais constituídos por painéis maciços foram priorizadas propostas alternativas para sua fabricação dentro de um processo produtivo artesanal, ou seja, que não dependesse de grandes investimentos em maquinaria. Por fim, na quarta e última etapa, foi construído um protótipo de 2 pavimentos, utilizando a opção que obteve melhor resultado na etapa 3. A construção do protótipo visava examinar o desempenho acústico e comportamento estrutural dos elementos, além do processo de manufatura dos painéis e montagem da edificação.

2.2.7.1.4 Resultados da pesquisa *Holzbauweisen für den verdichteten Wohnbau*

A análise de custos da pesquisa empreendida pela TUWIEN demonstrou que há uma grande diferença entre as soluções para paredes com cavidades interiores e soluções maciças. Segundo a pesquisa referida, opções maciças em madeira apresentaram custo inferior às opções com cavidades (sistemas do tipo framing). Isso porque, embora empreguem maior quantidade de madeira, nas opções maciças pode ser utilizada madeira serrada de menor qualidade devido ao desempenho combinado do conjunto. Além disso, no caso das peças não ficarem expostas, podem ser ainda utilizadas peças brutas (sem acabamento) e, portanto, com menor valor agregado⁹. Não obstante, opções maciças apresentam ainda desempenho térmico e acústico superior¹⁰.

9 Winter et al, 2001: pág. 68.

10 Winter et al, 2001: pág. 111

A pesquisa concluiu também que no caso das paredes exteriores, a utilização de elementos construtivos pré-fabricados em grandes dimensões diminuí substancialmente o tempo de instalação. Adicionalmente, soluções que empregam elementos constituídos por painéis maciços apresentam ainda maior rigidez para transporte e manuseio.

Por fim, a possibilidade de manufatura artesanal dos painéis maciços, de acordo com a pesquisa da TUWIEN, se mostrou competitiva do ponto de vista econômico quando comparada com sistemas *framing* e também com outros sistemas para construção maciça em madeira, como o CLT¹¹.

2.2.7.2 MASSIV WAND 5 (MW5) - PAINEL MACIÇO COM COMPENSADO SARRAFEADO E PILARETES, NA ALTURA TOTAL DA CONSTRUÇÃO¹²

2.2.7.2.1 Descrição do elemento

Dentre as soluções propostas pela TUWIEN, este trabalho optou por analisar apenas a alternativa MW5 para construção de elementos verticais (paredes exteriores portantes), pois esta opção obteve o melhor resultado em termos de custo, mostrando-se competitiva tanto quanto comparada com sistemas em madeira do tipo *framing* ou CLT, como quando comparada com sistemas convencionais em tijolo ou concreto.

No MW5 o núcleo maciço de madeira do elemento é composto por peças de madeira serrada (seções de 40 x 100, 180, 220; 80 x 100 e 60 x 240 milímetros) e chapa de compensado sarrafeado de 3 camadas (espessura de 20 milímetros). A figura 2.31 mostra a seção do núcleo maciço de madeira do elemento.

O elemento foi desenvolvido para ocupar a altura total da construção (como mencionado no item 2.2.7.1.4, o aumento no tamanho dos componentes resulta em economia nos custos de produção e instalação) e possui dimensões externas de 2,08 metros de largura por 6 metros de altura. Na parte central encontra-se a chapa de compensado sarrafeado, percorrendo

Figura 2.31. Seção do núcleo maciço de madeira do elemento MW5. Fonte: adaptado de Winter et al, 2001.

¹¹ Idem.

¹² *Einschalige Holzmassivwand mit Mehrschichtplatte und stehenden Pfosten, gebäudehohe Großtafel*

toda a dimensão longitudinal do componente. Sobre ela são parafusadas tábuas com 40 x 180 milímetros; no centro do painel é parafusado um pilarete em cada face com seção de 80 x 100 milímetros. Nas laterais, tábuas de 40 x 100 e 40 x 220 milímetros são fixadas perpendicularmente à chapa de compensado sarrafeado, visando aumentar a resistência ao empenamento. Adicionalmente, são colocadas travessas com seção de 60 x 240 milímetros a cada pavimento para fixação da estrutura do piso e aumento da rigidez lateral do elemento (figura 2.31).

Tabela 2.9. Características básicas do núcleo maciço do elemento MW5.

Dimensões do núcleo maciço	
Comprimento	6 m
Largura	2.08 m
Espessura	220 mm
Número de camadas	3
Dimensões das tábuas	
Largura	220, 180, 100 mm
Espessura	40 mm
Dimensões da chapa de compensado sarrafeado	
Largura	2 m
Espessura	20 mm
Madeira utilizada (gênero)	<i>Picea abies</i>

Fonte: Winter et al, 2001.

Figura 2.32. Perspectiva isométrica do protótipo. Fonte: Winter et al, 2001.

No intuito de verificar as hipóteses encontradas na pesquisa, a TUWIEN construiu um protótipo com 2 pavimentos. Três paredes verticais afastadas 5,5 metros entre si delimitaram 4 espaços no qual medições de desempenho puderam ser feitas (figura 2.32). Todas as peças e componentes foram produzidos em uma oficina localizada em Viena; utilizou-se madeira serrada de conífera (gênero *Picea*) com teor de umidade de 15% (+/- 3%). A tabela 2.9 sintetiza as principais características do núcleo maciço do elemento vertical MW5, produzidos pela TUWIEN para construção do protótipo.

2.2.7.2.2 Etapas de produção do protótipo

1. Preparação: a chapa de compensado sarrafeado de 3 camadas (6 x 2 x 0,02 metros) é disposta sobre cavaletes (figura 2.33).
2. Fixação da peças laterais: as peças laterais de 40 x 100 milímetros são fixadas mecanicamente à chapa de compensado por meio de parafusos auto-perfurantes. As primeiras peças são parafusadas perpendicularmente a partir da chapa de compensado; as peças do lado seguinte são parafusadas diagonalmente a partir de suas faces maiores (figura 2.34).
3. Fixação dos pilaretes: os pilaretes são fixados mecanicamente à chapa de compensado sarrafeado por meio de parafusos auto-perfurantes (figura 2.35), seguindo o mesmo processo que as peças laterais (etapa 2).
4. Fixação das tábuas: as tábuas de madeira são fixadas mecanicamente à chapa de compensado, por meio de parafusos auto-perfurantes. Nas peças da primeira face os parafusos são colocados a partir da chapa de compensado (figura 2.36); as peças da outra face são fixados a partir das faces maiores das tábuas.

Figura 2.33. Etapa 1: chapa de compensado e tábuas dispostas sobre cavaletes (esquerda). Fonte: Winter et al, 2001.

Figura 2.34. Etapa 2: peças laterais fixadas na chapa de compensado sarrafeado. (direita). Fonte: Winter et al, 2001.

5. Fixação das tábuas laterais: as tábuas laterais de 40 x 220 milímetros são fixadas mecanicamente às peças laterais de 40 x 100 milímetros por meio de parafusos auto-perfurantes. Os parafusos são fixados partindo da face maior externa da tábua lateral (figura 2.37).

6. Fixação das vigas: vigas transversais ao painel para encaixe da estrutura do pavimento intermediário e reforço da estrutura são fixadas mecanicamente no centro e nas extremidades por meio de parafusos auto-perfurantes (figura 2.38).

7. Instalação do painel: o painel é içado e instalado no local final (figura 2.39).

8. Montagem do piso: a estrutura do piso é montada (figura 2.40).

Figura 2.35. Etapa 3: pilaretes fixados à chapa de compensado sarrafeado. (esquerda). Fonte: Winter et al, 2001.

Figura 2.36. Etapa 4: fixação das tábuas à chapa de compensado sarrafeado. (direita). Fonte: Winter et al, 2001.

Figura 2.37. Etapa 5: fixação das tábuas laterais. (esquerda). Fonte: Winter et al, 2001.

Figura 2.38. Etapa 6: detalhe da viga para encaixe da estrutura do pavimento. (direita). Fonte: Winter et al, 2001.

9. Finalização do protótipo: o isolamento termo-acústico de lã mineral e revestimento externo composto por chapas de gesso acartonado são fixados aos elementos; as juntas são calafetadas (figura 2.41).

2.2.7.3 OBSERVAÇÕES

A fixação das tábuas de madeira na chapa de compensado por meio de parafusos permite a livre movimentação individual de cada peça no sentido tangencial, de acordo com a variação no teor de umidade da madeira (figura 2.42). Isso evita o surgimento de trincas na face das peças¹³. No MW5, o surgimento de frestas entre as tábuas não gera um problema em relação ao

Figura 2.39. Etapa 7: içamento do componente e instalação no local final. (esquerda). Fonte: Winter et al, 2001.

Figura 2.40. Etapa 8: montagem do piso; estrutura finalizada. (direita). Fonte: Winter et al, 2001.

Figura 2.41. Etapa 9: Protótipo terminado após instalados o isolamento e revestimento de chapas de gesso acartonado (direita). Fonte: Winter et al, 2001.

¹³ Winter et al, 2001: pág. 68

fechamento hermético do painel, pois a chapa de compensado sarrafeado localizada no centro do painel ao longo de toda sua dimensão longitudinal garante essa função.

A manufatura do primeiro painel, executada por apenas um trabalhador, durou 3.5 horas. Os dois painéis seguintes foram produzidos por dois trabalhadores em cerca de 1,5 horas/painel. A seguir, a montagem da estrutura, feita com auxílio de guindaste, durou cerca de 3 horas; por fim, o processo de montagem dos pisos e finalização da estrutura dos dois pavimentos durou aproximadamente 7 horas¹⁴.

2.2.7.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O MW5

A tabela 2.10 apresenta a análise SWOT, sintetizando as informações sobre o processo produtivo do MW5, relacionando seus pontos fortes, fracos e suas respectivas oportunidades e ameaças.

De acordo com à legislação austríaca de segurança contra fogo, quando utilizada como estrutura em construções multi-pavimentos, a madeira deve estar protegida por materiais não inflamáveis, no caso, chapas de gesso.

Como a estrutura está oculta, surge a possibilidade de utilização de madeira com menor nível de acabamento, ou seja, utilizam-se peças com menor valor agregado, resultando na redução dos custos com material.

Além disso, a utilização da chapa de compensado sarrafeado na parte central, visando fornecer a rigidez lateral ao componente ao invés de madeira serrada (como no CLT), resulta em uma condição mais eficiente de transmissão da carga pois apenas 12% da seção total do componente MW5 encontra-se orientada transversalmente ao sentido de maior solicitação estrutural.

*Figura 2.42. Diagrama de deformação devido à retração tangencial das tábuas.
Fonte: Winter et al, 2001.*

14 Winter et al, 2001: pág. 117

Tabela 2.10. Análise SWOT do processo produtivo do MW5.

Pontos fortes (Strengths)	Pontos fracos (Weaknesses)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Processo produtivo “artesanal”. 2. Possibilidade de produção de painéis com grandes dimensões. 3. Rigidez lateral do painel conferida pela chapa de madeira compensada sarrafeada. 4. Junção entre as diversas camadas feita por meio de parafusos auto-perfurantes. 5. Possibilidade de utilização de madeira com menor nível de acabamento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Velocidade de produção depende da qualidade da mão-de-obra. 2. Recortes de vão referentes a portas e janelas devem ser executados durante o processo de fabricação do painel. 3. Necessidade de chapa de madeira compensada sarrafeada percorrendo a seção longitudinal; a chapa inclui adesivo químico em sua composição. 4. Parafusos auto-perfurantes podem dificultar ou até mesmo inviabilizar a usinagem dos painéis à posteriori. 5. Madeira empregada nos painéis não pode ser utilizada aparente.
Oportunidades (Opportunities)	Ameaças (Threats)
<ol style="list-style-type: none"> 1. Baixa demanda por investimento em maquinaria e infra-estrutura de produção. 2. Ganho com economia de escala; alto nível de pré-fabricação de elementos. 3. Estabilidade dimensional com uso eficiente de material; garantia de fechamento hermético do painel no caso de retração das tábuas. 4. Não requer prensagem ou tempo de secagem; não representa um problema ambiental. 5. Utilização de madeira com menor valor agregado pode reduzir os custos finais do elemento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Possível aumento dos custos decorrente da menor produtividade. 2. Necessidade de maior planejamento e organização ainda durante a etapa de projeto. 3. Utilização de chapa compensada sarrafeada menor resultará em juntas ou na redução do tamanho dos painéis; o adesivo químico pode representar um problema na hora do descarte ou reciclagem do componente 4. Necessidade de maior planejamento e organização ainda durante a etapa de projeto, visando evitar a usinagem dos painés após sua fabricação. 5. Necessidade de revestimento das superfícies do painel com outros materiais.

Do ponto de vista da fabricação dos componentes, observa-se um processo produtivo “artesanal”, necessitando principalmente de ferramentas manuais elétricas. Mesmo assim, tal sistema mostrou-se economicamente competitivo com soluções em madeira do tipo *framing* ou maciças e equivalente às soluções convencionais em concreto armado e alvenaria estrutural¹⁵. No entanto, é importante ressaltar que a oferta de chapas de compensado sarrafeado com grandes dimensões (2 x 6 metros) na Áustria é um fator determinante para a organização da produção do componente. A chapa de compensado atua como “espinha dorsal” do processo, permitindo que todas as demais peças do painel sejam fixadas a ela.

Entende-se que o componente MW5 possui as mesmas qualidades que o CLT: grande capacidade de transferência de carga vertical e horizontal, estabilidade dimensional, bom isolamento térmico. Adicionalmente, devido ao processo produtivo “artesanal”, não são exigidas grandes quantias de investimento em maquinaria. No entanto, a utilização de grandes elementos construtivos, apesar dos ganhos com a redução do tempo de instalação e economia de escala, demanda a utilização de guindaste para sua instalação.

2.2.8 CONCLUSÃO

2.2.8.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tabela 2.11 sintetiza as principais informações sobre os quatro casos analisados a fim de facilitar a comparação entre as diferentes alternativas.

No que se refere à matéria-prima, observa-se que todas as opções de painéis abordadas neste tópico empregam exclusivamente madeira de árvores coníferas na constituição dos painéis. Entretanto, o teor de umidade da madeira utilizada varia de acordo com cada solução: as duas opções que utilizam pinos metálicos para realizar a união das diferentes camadas (MHM e MW5), empregam madeira com teor de umidade mais elevada que soluções com adesivo poliuretano (NS) ou com cavilhas de madeira (H100).

Isso ocorre pois, no MHM e MW5 as lamelas não estão fixadas lateralmente umas às outras como no NS. Assim sendo, sua retração no caso da redução do teor de umidade da madeira não resultaria em trincas. Nos painéis H100, embora as lamelas também não se encontrem fixas lateralmente umas às outras, a retração da madeira poderia levar ao afrouxamento das conexões entre as cavilhas e lamelas, o que justifica o controle bastante rigoroso da

15 Winter et al, 2001: 131

Tabela 2.11. Principais características das soluções analisadas no tópico 2.2.

	Novatop	MHM	H100	MW5
Madeira utilizada (gênero)	<i>Picea</i>	<i>Picea, Pinus, Abies</i>	<i>Abies, Larix, Picea, Pinus, Pinus cembra</i>	<i>Picea</i>
Teor de umidade da madeira (%)	8	14	10 (lamelas); 8 (cavilhas)	15
Dimensões das lamelas (largura / espessura - mm)	90 a 135 / 9, 24 ou 44	140 a 260 / 23	> 100 / 24 a 50 ou 60 a 80	180 / 40
Conexão lateral entre as lamelas	junta de topo com adesivo PU	junta sobreposta	junta de topo	junta de topo
Ranhuradas na face das lamelas	não	sim	sim	não
Dimensões finais do painel				
Largura (m)	2,5	3,25	3	2,08
Comprimento (m)	6	6	8	6
Espessura (mm)	62 a 116	70 a 360	120 a 364	100
Número de camadas	3 a 9	5 a 15	4 a 11	3
Conexão entre as camadas	Adesivo PU	Pregos anelados de alumínio	Cavilhas	Parafusos auto-perfurantes
Orientação paralela ao carregamento vertical (%)	53 a 70	53,4 a 60	33,4 a 49	88

umidade das lamelas e das cavilhas. Já no NS, devido à colagem lateral, caso houvesse retração das lamelas, isso geraria fissuras nas faces exteriores, que poderiam levar a uma diminuição do fechamento hermético do painel além

do prejuízo visual. Por esse motivo a madeira utilizada no NS exibe a menor teor de umidade de todas as soluções.

Não é possível determinar nenhuma relação entre a espessura das lamelas empregadas e o tipo de solução para os painéis, no entanto, nota-se que a execução de ranhuras nas lamelas, visando à melhoria do nível de isolamento termo-acústico do painel, é realizada apenas nos painéis cuja fixação entre as camadas é feita mecanicamente, pois a diminuição da área de contato direto entre as faces das lamelas torna a utilização de adesivo poliuretano menos eficiente.

Além disso, painéis que não utilizam qualquer tipo de adesivo químico (MHM, H100) apresentam maior número médio de camadas do que os painéis que utilizam algum tipo de adesivo químico em sua constituição (NS, MW5).

Do ponto de vista do sistema produtivo, nota-se em todos os casos estudados um alto grau de mecanização e automação da produção, com exceção do MW5 que apresenta sistema produtivo “artesanal”, utilizando predominantemente ferramentas elétricas manuais para a fabricação do painel, todavia, sem resultar em perda da qualidade ou aumento de custos em comparação às demais soluções.

Em relação às dimensões finais dos produtos, observou-se que o comprimento máximo das alternativas estudadas neste tópico é cerca de metade da dimensão máxima do CLT, variando entre 6 e 8 metros; a largura, no entanto, manteve-se próxima das dimensões encontradas no CLT, variando entre 2 e 3 metros. Por fim, tanto os painéis NS como os MHM apresentam material orientado transversalmente à direção de maior solicitação estrutural em quantidade similar ao CLT. Os painéis H100 e o MW5 obtiveram resultados diferentes dos demais e opostos entre si: o primeiro obteve a maior quantidade de material orientado em direção diferente da vertical, devido à existência de camadas horizontais e diagonais que visam fornecer rigidez contra esforços laterais ao painel; o segundo apresenta quase 90% do material orientado na direção de maior solicitação estrutural, devido à utilização de chapa de madeira compensada sarrafeada no centro do painel, permitindo que, com uso mais eficiente e econômico de material, obtenha-se a rigidez e estabilidade dimensional necessária ao conjunto.

2.2.9 REFERÊNCIAS

2.2.9.1 LIVROS E DISSERTAÇÃO

BRIGOLA, B. **Entwicklung hermischt optimierter Wandelemente aus Massivholzplatten mit ingefrästen Lufteinschlüssen**. Dissertação de mestrado apresentada à Technischen Universität Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung em março de 2010.

VOLZ, M. **Protecting wood**. In: Timber Construction Manual, p. 60-63, Birkhäuser: Berlim, 2008.

WINTER, W.; DREYER, J.; SHÖBER, H. **Holzbauweisen für den verdichteten Wohnbau**. Haus der Zukunft: Viena, 2001.

2.2.9.1 RELATÓRIOS

AGROP NOVA A.S. **Technical documentation**, 2011. Disponível em: <www.novatosystem.cz>. Acesso em 25 de out. de 2011.

BAYERISCHE STAATSREGIERUNG. **Bayern in Zahlen**, 2011. Disponível em: <<http://www.bayern.de>>. Acesso em 2 de out. de 2011.

Bundesamt für Wald (BFW). **Österreichischen Waldinventur (ÖWI)**, 2000-2002. Disponível em: <<http://bfw.ac.at>>. Acesso em 10 de nov. de 2011.

CEI-BOIS. **Tackle climate change: use wood**. Bruxelas, 2010. Disponível em: <<http://www.cei-bois.org>>. Acesso: 10 de out. de 2011.

HANS HUNDEGGER MASCHINENBAU GMBH. **MHM production line**, 2011. Disponível em : <<http://www.hundegger.de>>. Acesso em 22 de out. de 2011.

MASSIVHOLZMAUER ENTWICKLUNGS GMBH. **MHM Prospekt**, 2011. Disponível em: <<http://www.massivholzmauer.de>>. Acesso em 09 de out. de 2011.

SCHICKHOFER, G. **CLT – European experiences**. Palestra proferida no Institute For Timber Engineer And Wood Technology. Vancouver, 2011.

SCHUCK, A.; BRUSSELEN, J. V.; PÄIVINEN, R.; HÄME, T.; KENNEDY,

P.; FOLVING, S. **Internal report 13**. European Forest Institute, Joensuu, Finland, 2002. Disponível em: <<http://www.efi.int>>. Acesso: 13 de set. de 2011.

THOMA HOLZ GMBH. **Walls, roof ceiling construction**, 2011. Disponível em: <<http://www.thoma.at>>. Acesso 12 de out. de 2011

2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO DE ESTADO DA ARTE.

Em termos gerais, foi possível observar que fábricas produtoras de painéis maciços que utilizam o princípio da laminação cruzada localizam-se nas proximidades de grandes áreas de reservas florestais, visando garantir uma oferta abundante de matéria-prima. Além disso, é importante para as empresas estudadas o controle da qualidade da madeira obtida nos quesitos da classe de resistência e teor de umidade, buscando assegurar o correto desempenho dos produtos do ponto de vista da resistência mecânica, laminação adequada e durabilidade contra agentes biológicos. Também cabe ressaltar que todos os produtos analisados são fabricados em grandes dimensões, objetivando diminuir os custos individuais por meio do aumento da produtividade (economia de escala).

No estudo do CLT observou-se um produto de alta qualidade em termos de desempenho estrutural e conforto ambiental, mas que apresenta os seguintes pontos negativos: demanda de grandes quantias de investimento em infra-estrutura de produção, utilização de adesivo poliuretano (material proveniente de fonte não renovável) e desperdício de material com recorte de portas e janelas no painel acabado.

No caso do Novatop foi possível observar alguns dos problemas encontrados anteriormente no CLT (como alto investimento em infra-estrutura de produção, uso de adesivo poliuretano e perda de material com recorte de portas e janelas), porém, verificou-se uma possibilidade de redução da quantidade de madeira orientada transversalmente à direção de maior solicitação estrutural por meio da utilização de lamelas com menores espessuras nas faces externas do painel. Entretanto, essa solução demanda que a madeira utilizada tenha teor de umidade significativamente menor que a do CLT. Observou-se também uma tentativa de redução do investimento em maquinaria por meio da utilização de prensagem a frio.

O MHM apresentou problemas análogos ao CLT do ponto de vista do desperdício de material, porém, demonstrou uma possibilidade de solidarização entre as diversas camadas unicamente por meio de conexão mecânica (pregos anelados de alumínio). Isso possibilita a utilização de madeira serrada com teor de umidade mais elevado que as soluções

anteriores. Além disso, como não é empregado qualquer tipo de adesivo químico no processo produtivo, não é necessária a utilização de prensa, reduzindo os gastos com maquinaria. Todavia, cabe ressaltar que se trata de um sistema produtivo ainda altamente mecanizado e com elevado grau de automação.

No estudo do H100 observou-se uma segunda possibilidade de utilização de conexão mecânica para solidarização das diferentes camadas, por meio de cavilhas de madeira ao invés de pregos de alumínio. Apesar do ganho do ponto de vista ecológico, por se utilizar apenas material natural e proveniente de fonte renovável, a fixação das cavilhas não fornece rigidez suficiente contra esforços laterais, resultando na utilização de camadas diagonais para reforço adicional. Com isso cria-se uma situação na qual menos de 50% da seção encontra-se orientada na direção de maior solicitação estrutural. Além disso, observa-se o mesmo problema de perda de material decorrente do recorte de portas e janelas nos painéis acabados.

O MW5 foi o único dentre as alternativas para painéis que utilizam o princípio da laminação cruzada estudados passível de ser produzido com pouca mecanização e nenhuma automação, o que diminuí significativamente a necessidade de investimentos em maquinaria, todavia, mantendo as principais qualidades encontradas no CLT: bom desempenho estrutural (alta capacidade de carregamento) e conforto ambiental. Além disso, apresentou o melhor índice de aproveitamento de material com quase 90% da seção orientada na direção de maior solicitação estrutural. Não obstante, a solução utiliza madeira com menor valor agregado devido a um maior teor de umidade e baixo nível de acabamento nas peças não visíveis. Como a forma de solidarização entre as diferentes camadas ocorre por meio de conexão mecânica (parafusos de aço) é importante um bom planejamento da produção para que todos os vãos sejam executados ainda durante o processo de fabricação do painel, a fim de se evitar sua posterior usinagem.

Entende-se que de todas as soluções estudadas o MW5 apresenta o maior potencial para apropriação dentro das limitações encontradas no setor habitacional brasileiro (item 1.1.) e, portanto, será analisado em maior detalhe no próximo capítulo. A solução será reavaliada do ponto de vista de sua adequação ao setor madeireiro paulista e dos custos de fabricação na região metropolitana de São Paulo.

3.0 ANÁLISE COMPARATIVA

Resumo: o objetivo deste capítulo é comparar o setor madeireiro austríaco com o paulista, estabelecendo as principais diferenças do ponto de vista das reservas florestais e indústria madeireira em cada local e como estas interferem nos custos de produção de um elemento construtivo específico. Primeiramente, o setor madeireiro em cada caso foi analisado individualmente; a seguir, foi elaborada uma tabela contendo as principais informações levantadas, a partir da qual os casos foram comparados. As informações foram obtidas em teses, revistas relacionadas e em relatórios de instituições de pesquisas estatísticas em ambos países. Na segunda parte do capítulo foram elaboradas estimativas de custos para a produção do elemento vertical MW5, analisado no capítulo anterior (item 2.2.7), em Viena e na região metropolitana de São Paulo. As informações sobre a quantificação dos materiais e custo de produção em Vienna foram obtidas na pesquisa *Holzbauweisen für die Verdichteten Wohnbau* (2001), enquanto as informações referentes ao preço dos materiais e serviços em São Paulo foram obtidas no banco de dados da PINIweb, guia da construção, para janeiro de 2012. Ao final, observou-se que apesar do Estado de São

Paulo apresentar área florestal consideravelmente menor que a Áustria, devido a alta taxa de incremento anual das florestas plantadas no Brasil, produz-se anualmente praticamente o mesmo volume de toras de madeira em ambos locais. Todavia, ao contrário da Áustria, a produção de insumos madeireiros no Estado de São Paulo é predominantemente voltada ao abastecimento do segmento industrial do papel e celulose. Isso cria uma oferta limitada de produtos provenientes do segmento de serraria, resultando no aumento de seus preços. Por esse motivo, verificou-se na estimativa de custos que os gastos com matéria-prima possuem maior participação no custo para produção do elemento no Estado de São Paulo do que em Viena.

Palavras-chave: silvicultura, mata nativa, indústria madeireira, pré-fabricação em madeira, estimativa de custos.

Abstract: *the purpose of this chapter is to compare Austrian and São Paulo's forestry sector. It intendeds to establish the main differences between the forest resources and*

timber industry in each place and how these differences affect the production costs of a specific building element. First, the forestry sector in each case was analysed individually, then a table containing the main information obtained was developed and the cases were compared. The information was obtained in theses, related magazines and on statistics reports from both countries. In the chapter's second part, cost estimates for MW5's production, analysed in the previous chapter (item 2.2.7), were simulated for Vienna and São Paulo's metropolitan region. The information on the materials' quantification and production cost in Vienna were obtained in the *Holzbauweissen für die Verdichteten Wohnbau* (2001) research and the information regarding materials and services' price in São Paulo was obtained in PINIweb, *guia da construção* database on January, 2012. At the end it was found that, although the State of São Paulo's forest area is considerably smaller than Austria's, due to the high growth rate of planted forests in Brazil, the annual volume of logs produced in both places is roughly the same. However, unlike Austria, São Paulo's timber supplies production is directed predominantly to the wood pulp and paper industry. This creates a limited offer of products from the sawmill sector, resulting in increased prices. For this reason, it was found during the cost estimation that expenses with raw materials have bigger shares

in the element's production costs in São Paulo than in Vienna.

Keywords: forestry, native forests, timber industry, timber pre-fabrication, cost estimation.

3.1 ANÁLISE COMPARATIVA DO SETOR MADEIREIRO: ÁUSTRIA X SÃO PAULO.

Resumo: o objetivo deste tópico é comparar o setor madeireiro austríaco com o paulista, visando estabelecer as principais semelhanças e diferenças entre os dois locais do ponto de vista das reservas florestais e indústria madeireira. Primeiramente, características do setor madeireiro em cada caso foram analisadas individualmente, no âmbito das reservas florestais (área de cobertura florestal, taxa de incremento anual, distribuição das espécies) e indústria madeireira (produção total de toras de madeira, distribuição das toras entre indústria do papel e outras finalidades, valor adicionado bruto e número de empregos gerados). A seguir, foi elaborada uma tabela contendo as principais informações levantadas, a partir da qual os casos foram comparados. As informações foram obtidas em teses, revistas relacionadas e em relatórios de instituições de pesquisas estatísticas em ambos países. Ao final, obteve-se que apesar de o Estado de São Paulo apresentar área florestal consideravelmente menor que a Áustria, devido à alta taxa de incremento anual das florestas plantadas no Brasil, produz-se anualmente praticamente o mesmo volume de toras de madeira em ambos locais. Todavia, ao contrário da Áustria, a produção de insumos

madeireiros no Estado de São Paulo é, predominantemente, voltada ao abastecimento do segmento industrial do papel e celulose. Desse modo, enquanto na Áustria existe uma boa oferta de madeira serrada de coníferas para beneficiamento em produtos derivados, em São Paulo, a oferta de produtos madeireiros é mais abundante para espécies de *Eucalyptus*, principalmente no formato de toras ou polpa, para processamento pela indústria do papel e celulose.

Palavras-chave: silvicultura, mata nativa, indústria madeireira, São Paulo, Áustria.

Abstract: *the purpose of this topic is to compare the Austrian and São Paulo's forestry sector, aiming to establish the main similarities and differences between the two locations. First, the forestry sector in each case was analysed individually, from the standing points of forest resources (forest coverage rate, annual increment, species distribution) and timber industry (log production volume, log volume distribution among paper industry and other industry segments, gross value added and number of jobs*

created). Then, a table containing the main information obtained was developed and the cases were compared. The information was obtained in theses, related magazines and on statistics reports from both countries. At the end it was found that although the State of São Paulo's forest area is considerably smaller than Austria's, due to the high annual increment rate of planted forests in Brazil, the annual volume of logs produced in both places is roughly the same. However, unlike Austria, São Paulo's timber supplies production is directed predominantly to the wood pulp and paper industrial segment. Thus, in Austria there is a good supply of softwood lumber available for processing into timber products, whereas in São Paulo, the supply of wood products is more abundant for Eucalyptus species, mostly in the form of logs or pulp.

Keywords: forestry, native forests, timber industry, São Paulo, Austria.

3.1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

3.1.1.1 RESERVAS FLORESTAIS E INDÚSTRIA MADEIREIRA

A indústria madeireira é em larga medida uma indústria dependente dos recursos disponíveis no local ou em áreas próximas, dependendo da eficiência dos meios de transporte. Assim, pode-se dizer que existe uma relação direta entre a oferta de matéria-prima e os produtos fabricados pela indústria e, portanto, para uma melhor compreensão da indústria madeireira de uma nação ou região no âmbito de seus produtos é necessário o entendimento do contexto florestal local. De modo análogo, a análise de determinadas reservas florestais torna-se um instrumento essencial para obtenção de subsídios que fundamentem a proposição de produtos coerentes com o perfil florestal e industrial regionais.

Assim sendo, entende-se que a concentração de indústrias produtoras do CLT na Áustria¹, como observado no tópico 2.1, não é mera coincidência e sim, resultado de certa condição florestal e industrial que favorece a fabricação deste produto. Estabelecer quais as variáveis do setor madeireiro austríaco viabilizam a produção do CLT e o quanto essas mesmas variáveis diferem no contexto brasileiro é importante, no intuito de delimitar as principais possibilidades e limitações para a produção de painéis maciços que utilizem o princípio da laminação cruzada em território nacional.

Por ser o Brasil um país com dimensões continentais e, não obstante, abrigar uma grande multiplicidade de cenários, torna-se necessário efetuar um recorte regional. Por esse motivo, a pesquisa das reservas florestais e indústria madeireira no Brasil será restringida aos limites da divisão administrativa do Estado de São Paulo.

3.1.2 OBJETIVO DE PESQUISA

3.1.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O tópico pretende analisar as reservas florestais e indústria madeireira na Áustria e no Estado de São Paulo, primeiro individualmente e em seguida comparando os dois casos. Objetiva-se estabelecer as principais semelhanças e diferenças entre os dois locais a fim de compreender as possibilidades e limitações oferecidas pelo setor madeireiro paulista que exercerão maior influência no desenvolvimento de painel maciço adequado ao contexto local.

1 De 1996 a 2008, a produção de CLT cresceu em aproximadamente 860%; atualmente 63% de toda produção europeia de CLT concentra-se na Áustria (Schickhofer, 2011).

3.1.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

3.1.3.1 MÉTODO

Primeiramente, foram analisadas as reservas florestais em cada caso: foram

levantados dados sobre a área de cobertura florestal, categorias de propriedade da terra, distribuição de espécies e taxa de incremento anual. A seguir, em cada local foram analisadas as características da indústria madeireira: foram coletados dados sobre o volume de produção anual de toras de madeira, utilização das toras de acordo com o segmento produtivo, preços brutos, volume de produção, exportação e consumo doméstico de madeira e seus produtos derivados. Na sequência, foi tratada a importância econômica do setor madeireiro para o país ou região de estudo: foram pesquisados dados sobre o valor adicionado bruto total, participação no PIB, valor adicionado bruto das exportações e número de empregos diretos e indiretos gerados no setor.

Depois, foram traçadas considerações acerca das principais características encontradas em cada caso do ponto de vista das reservas florestais, indústria madeireira e importância econômica do setor. Por fim, foi elaborada uma tabela contendo as principais características de cada caso, visando sua comparação direta. As informações foram obtidas em relatórios de pesquisas estatísticas de instituições governamentais ou privadas de cada país, teses acadêmicas e revistas relacionadas.

3.1.4 ÁUSTRIA

3.1.4.1 RESERVAS FLORESTAIS

A Áustria possui área total de 8.387.899 hectares e uma população de 8.363.000 habitantes (Statistik Austria, 2011). Com 47,6 % do território coberto por florestas (BFW, 2008), o que equivale a uma área de aproximadamente 4 milhões de hectares, o país apresenta o maior percentual de área florestal na Europa Central (FAO, 2005). Cerca de 3.335.927 hectares da área florestal total correspondem à florestas voltadas para exploração comercial da madeira (Statistik Austria, 2011). De acordo com o Ministério para Conservação de florestas da Europa (MCPFE, 2007, cf: Weiss, 2010), apenas 1/4 da área florestal austríaca é definida como área de conservação, sendo que nesta parcela a exploração madeireira pode ser categorizada de

três formas diferentes: intervenção mínima, manejo sustentável e manejo com prioridade de conservação da paisagem e elementos naturais (MCPFE, 2007. Cf: Weiss, 2010). Ou seja, em todos os casos a exploração comercial é permitida, variando apenas a intensidade dessa exploração.

Observa-se na tabela 3.1 que a estrutura de propriedade florestal austríaca é marcada pela fragmentação da posse da terra. Mais de 70% da área total é constituída por propriedades privadas, sendo a maioria delas definidas como pequenas propriedades (com área menor que 200 hectares).

Tabela 3.1. Estrutura de propriedade florestal austríaca em 2001.

Tipo de propriedade	Hectares	Percentual
Florestas privadas (área menor que 200 ha)	1.786.268	49,4%
Florestas privadas (área maior que 200 ha)	776.632	21,4%
Florestas comunitárias	359.051	9,8%
Florestas municipais	89.391	2,4%
Florestas provinciais	41.810	1,5%
Florestas da federação	564.459	15,5%

Fonte: BMFLUW, 2002 (cf: Weiss, 2010)

Nesse contexto de fragmentação, de acordo com o inventário florestal (ÖWI, 2000-2002), o crescimento anual médio das florestas austríacas foi da ordem de 30 milhões de metros cúbicos (volume vertical estimado, sem casca) sendo a taxa média de incremento anual aproximadamente 9 metros cúbicos por hectare.

No entanto, como pode ser observado na tabela 3.2, a produtividade florestal na Áustria varia em função da tipologia da propriedade. Observa-se ainda que do total anual de metros cúbico produzidos nas florestas austríacas, apenas 2/3 são extraídos para uso comercial. Além disso, nota-se que florestas privadas de pequeno porte (menor que 200 ha), apesar de representarem 62% de todo incremento anual, contribuem com apenas metade dos metros cúbicos extraídos (48%), o que faz com que sua média de metros cúbicos extraídos anualmente por hectare seja a menor dentre todas as categorias de propriedade (4,8 m3/ha). Isso se deve ao fato da administração dessas florestas ser geralmente constituída por proprietários individuais, sem educação formal ou treinamento específico em técnicas de manejo florestal; desse modo, não possuem conhecimento que lhes permitiria mensurar

Tabela 3.2. Incremento e extração de madeira anual na Áustria por tipo de propriedade - 2000/2002.

Tipo de propriedade	Incremento anual			Extração anual		
	*1000 m3	%	m3/ha	*1000 m3	%	m3/ha
Florestas privadas (menor que 200 ha)	19550	62	10,4	9046	48	4,8
Florestas privadas (200 a 1000 ha)	2787	8,9	8,3	1900	10	5,7
Florestas privadas (maior que 1000 ha)	4999	16	8,3	4727	25	7,9
Florestas comunitárias	607	1,9	6,8	441	2,3	5,0
Total de proprietários privados	8393	26,9	8,2	7068	38	6,9
Florestas da federação	3312	10,6	6,7	2683	14	6,1
Total	31225	100	9,3	18797	100	5,6

Fonte: Inventário Florestal Austríaco (ÖIW 2000/2002, BFW 2008)

*Valor estimado vertical, sem casca.

o crescimento de suas florestas e assim traçar objetivos econômicos compatíveis para aumentar a geração de renda com a exploração de madeira dentro de suas pequenas propriedades (Weiss, 2010). Por outro lado, nota-se uma grande eficiência no manejo das florestas federais, sendo a tipologia

Figura 3.1. Divisão admnistrativa da áustria sobre mapa de cobertura florestal. Fonte: adaptado de Schuck, et al/Google maps.

que melhor consegue equacionar o crescimento anual com a exploração de madeira.

Do ponto de vista da divisão política do território a Áustria apresenta nove macro-regiões administrativas (figura 3.1). Dentre elas, as províncias da Estíria, Áustria Baixa e Caríntia, constituindo pouco mais de 50% de todo território, concentram mais de 65% da área florestal austríaca (tabela 3.3).

Tabela 3.3. Área total, área florestal e taxa de cobertura florestal em cada província da Áustria.

Estado	Área total (1.000 ha)	Área florestal (1.000 ha)	Taxa de cobertura florestal (%)
Áustria Alta	1.198	498	41,5
Áustria Baixa	1.919	767	40,0
Burgeland	396	134	33,9
Caríntia	954	584	61,2
Estíria	1640	1.006	61,4
Salzburgo	716	376	52,5
Tirol	1264	521	41,2
Viena	42	9	21,5
Voralberg	260	97	37,5

Fonte: Lebensministerium, 2011 (ano base 2007/2009)

O país dispõem principalmente de árvores coníferas, representando cerca de 67% do total da área florestal, com predomínio da espécie *Picea Abies* (tabela 3.4). No entanto, há também disponibilidade significativa de árvores folhosas, constituindo cerca de 24% do total, com destacada presença de *Fagus*

Figura 3.2 a,b. Mapas de cobertura florestal na Áustria: a) coníferas (esquerda); b) folhosas (direita). Fonte: adaptado de Schuck, et al/Google maps.

sylvatica. O restante da área florestal é composta por arbustos e vazios (ÖWI, 2000/2002). A figura 3.2 mostra a incidência de árvores coníferas e folhosas ao longo do território.

Na tabela 3.4 podem ser vistas, de acordo com o inventário florestal austríaco (ÖWI, 2000/2002), o percentual de cada espécie disponível no país.

Tabela 3.4. Espécies de árvores encontradas nas florestas austríacas e taxa de incidência.

Espécies	Taxa de incidência
Coníferas	66,9 %
<i>Picea abies</i>	53,7 %
<i>Abies alba</i>	2,3 %
<i>Larix decidua</i>	4,6 %
<i>Pinus sylvestris</i>	4,9 %
<i>Pinus nigra</i>	0,7 %
<i>Pinus cembra</i>	0,5 %
Outras Coníferas	0,2 %
Folhosas	23,8 %
<i>Fagus sylvatica</i>	9,6 %
<i>Quercus sp.</i>	2,0 %
Outras folhosas	8,0 %
Caducifólias	4,3 %
Vazios	6,9 %
Arbustos	2,5 %

Fonte: ÖWI 2000/2002, BFW 2008

3.1.4.2 INDÚSTRIA MADEIREIRA

Na Áustria, em 2009, foram comercializados um total de 25 milhões de metros cúbicos de toras de madeira para uso em serrarias, fábricas de papel e como fonte de combustível, dos quais cerca de 1/3 do volume foi importado de outros países (figura 3.3). A produção de combustível de madeira (lenha e carvão) utilizou 20% do volume total, sendo o restante (quase 20 milhões de metros cúbicos) utilizado pela indústria madeireira no processamento em serraria, fábrica de laminados e produção de polpa de madeira (FAOSTAT, 2011).

A maior parte das toras utilizadas na indústria madeireira foram processadas no segmento de serraria e produção de laminados (75%); o resto foi transformado em polpa e partículas de madeira para produção de chapas e pélets para geração de energia, como mostra a figura 3.4.

Como as toras utilizadas como matéria-prima pela indústria possuem

- Produção doméstica
- Importação

Figura 3.3. Produção doméstica e importação de toras de madeira na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.

- Serraria e produção de laminados
- Produção de polpa e partículas

Figura 3.4. Utilização das toras na indústria de acordo com o ramo produtivo em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.

pequeno valor agregado, a distância da fonte produtora até a indústria de processamento tem influência significativa no seu preço de comercialização. Weiss (2010) afirma que, na Áustria, a distância média máxima de transporte por caminhão entre a floresta e o comprador industrial é de 120 km e, de acordo com o autor, nas províncias da Estíria, Áustria Alta e Salzburg, uma distância de 100 km entre a fonte da matéria-prima e a indústria pode acrescentar de 8 a 10 euros por metro cúbico ao preço final da tora para serraria e cerca de 12 euros por metros cúbicos para toras que serão utilizadas na indústria do papel (Weiss, 2010).

Ou seja, dependendo do tipo e espécie da tora o valor adicionado pelo transporte pode representar de 15 a 20% do preço final (para as toras que serão utilizadas na serraria e indústria de laminados) e mais de 30% do preço final (para a madeira de polpa) (Weiss, 2010), como mostra a tabela 3.5, apresentando os valores de comercialização das toras de madeira.

Tabela 3.5. Preços para os insumos madeireiros, 2008

	€/m3*
Tora para serraria	
<i>Picea abies/ Abies alba</i> classe B Media 2b	72,40
<i>Pinus</i> classe B 2a	57,76
<i>Fagus sylvatica</i> classe B 3	75,43
Polpa de madeira	
<i>Picea abies/ Abies alba</i>	29,27
<i>Pinus</i>	30,02
<i>Fagus sylvatica</i> , longo	37,8

* Sem casca

Fonte: Statistik Austria 2009, apud Weiss 2010.

Em 2009, a produção de madeira serrada na Áustria foi de aproximadamente 8,5 milhões de metros cúbicos, dos quais 1.7 milhões de metros cúbicos tiveram de ser importados, constituindo 17% do total (figura 3.5). Ao todo, pouco mais de 10 milhões de metros cúbicos de madeira serrada foram comercializados no ano (FAOSTAT, 2011).

Apesar de quase 1/5 da madeira serrada comercializada na Áustria ser proveniente de outros países, quando observamos a relação entre exportação

e consumo interno de madeira serrada (figura 3.6), notamos que apenas 43% são consumidos internamente, enquanto quase 60% de toda madeira serrada produzida na Áustria são exportados (figura 3.6). Cabe ressaltar que o banco de dados utilizado não faz distinção entre madeira serrada simples e produtos derivados da madeira serrada, como por exemplo madeira laminada e CLT. Assim, podemos supor que, apesar da Áustria importar 8,4

● Produção doméstica ● Importação

Figura 3.5. Produção doméstica e importação de madeira serrada na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.

● Consumo doméstico aparente ● Exportação

Figura 3.6. Consumo doméstico e exportação de madeira serrada na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.

milhões de metros cúbicos de toras de madeira (figura 3.3), ou seja, matéria-prima com baixo valor agregado, ela exporta quase 4,5 milhões de metros cúbicos de madeira serrada e produtos derivados com maior valor agregado, o que resulta em uma balança comercial favorável com geração de renda para o setor.

- Chapas de partículas
- MDF
- Madeira compensada
- Chapa dura

Figura 3.7. Produção de chapas derivadas da madeira na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.

- Consumo doméstico aparente*
- Exportação

Figura 3.8. Consumo doméstico e exportação de chapas derivadas de madeira na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.

* Valor obtido pela subtração entre o volume produzido e o volume exportado no ano base.

No ano de 2009, a Áustria produziu 3 milhões de metros cúbicos de chapas derivadas da madeira, em sua grande maioria, chapas de partículas (OSB incluso) com 2,1 milhões de metros cúbicos produzidos, representando 70% de toda produção de chapas (figura 3.7).

Além disso, do total de chapas produzidas, apenas 30% foram utilizados para consumo interno; 70% de toda a produção, equivalendo mais de 2,5 milhões de metros cúbicos, foram exportados para outros países (figura 3.8).

3.1.4.3 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO SETOR MADEIREIRO.

Do ponto de vista econômico, o setor madeireiro austríaco contribuiu com 2.2% (5,1 bilhões de euros) do Valor Acrescentado Bruto ao PIB em 2006, sendo que 0,5% (1,9 bilhões de euros) vieram do manejo florestal, 0,9% (2,12 bilhões de euros) foram provenientes do setor de beneficiamento da madeira e 0,8 (1,79 bilhões de euros) tiveram sua origem na indústria do papel (BFW, 2008).

A força de trabalho movimentada pelo ramo da agricultura e da silvicultura foi de 495.804 (11,5% da PEA), incluídos nesse número os titulares das florestas e plantações, ajudantes (em regime integral ou meio período), aposentados e pensionistas, além de estudantes com mais de 16 anos de idade. Especificamente no ramo da silvicultura, empregam-se 2.458 trabalhadores qualificados, ou seja, com formação acadêmica ou técnica, nos quais estão incluídos engenheiros florestais, guardas-florestais e técnicos administrativos (Statistik Austria 2011).

Em se tratando de um país desenvolvido e, portanto, com disponibilidade de capital para investimento em tecnologia avançada para mecanização da produção, observa-se que considerável parcela da PEA ainda é empregada pelos segmentos da agricultura e silvicultura, ambos no setor primário da economia. Isso decorre em parte da estrutura fragmentada de posse da terra (item 3.1.4.1), formada por pequenos proprietários com organização familiar ou em pequenas comunidades, resultando em uma maior demanda de mão-de-obra. Além disso, observa-se também um grande número de trabalhadores qualificados empregados diretamente no segmento florestal.

No setor secundário, encontramos 1.018.600 trabalhadores empregados, sendo que o segmento da serraria (sem mobiliário) e cortiça emprega 30.062; na produção de mobiliário são empregados mais 30.107, enquanto o ramo de

produção de papel emprega 16.915 trabalhadores (Statistik Austria, 2009).

3.1.4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O SETOR MADEIREIRO NA ÁUSTRIA

A Áustria apresenta uma condição florestal única dentro da Europa Central: apesar de relativamente pequena, possui amplos recursos florestais. Predominam no país as espécies de árvores coníferas (63%), mais especificamente da espécie *Picea abies* (52%) e existe grande incentivo para exploração econômica e geração de renda a partir da madeira, dentro de um cenário no qual prevalece a fragmentação da propriedade (item 3.1.4.1).

Em decorrência dessa última característica, os recursos florestais não são plenamente aproveitados, sendo que dos 30 milhões de metros cúbicos produzidos pelas florestas austríacas anualmente, apenas cerca de 20 milhões são extraídos. Por esse motivo, existe a necessidade de importação de aproximadamente 8,5 milhões de metros cúbicos de toras de madeira.

Como foi observado no item 3.1.4.3, a maior parte do Valor Acrescentado Bruto pelo setor florestal provém do segmento de beneficiamento da madeira (1,79 bilhões de euros). Este segmento é responsável pela manufatura de produtos simples como madeira serrada e produtos de grande valor agregado derivados da madeira serrada como madeira laminada e o CLT, além de chapas de madeira feitas com folhas, partículas ou fibras extraídas das toras. Estes produtos são de fundamental importância para a indústria madeireira austríaca, como pode ser comprovado pelo volume de exportação: cerca de 64% (aproximadamente 8,3 milhões de metros cúbicos) de toda produção da indústria de beneficiamento é exportada (item 3.1.4.2).

Portanto, entende-se que a indústria madeireira austríaca orienta-se visando a geração de renda para o setor, principalmente, por meio da exportação de produtos madeireiros com alto valor agregado, como a madeira laminada, chapas beneficiadas e reconstituídas de madeira e o CLT.

3.1.5 ESTADO DE SÃO PAULO

3.1.5.1 RESERVAS FLORESTAIS

O Estado de São Paulo possui 24.819.696 hectares e abriga uma população de 41.262.199 habitantes (IBGE, 2010). Em 2009, a cobertura florestal do Estado

ocupava 22% da área, sendo a maior parcela (17,5%) composta por florestas nativas (tabela 3.6), localizadas sobretudo próximas à região litorânea. A figura 3.9 mostra a distribuição da cobertura florestal nativa no Estado.

Apesar de ocupar extensa área e conter grande diversidade de espécies, a possibilidade de utilização comercial da madeira proveniente de árvores da área florestal nativa no Estado de São Paulo apresenta complicações em relação à oferta de produtos madeireiros e ao impacto ambiental gerado.

Em relação ao primeiro problema, Carvalhaes et al. (2008) inventariou 69 espécies da mata nativa de São Paulo e dividiu seus produtos comerciais em dois grupos: Produtos florestais Madeireiros (PFM) e Produtos Florestais Não-Madeireiros (PFNM). No primeiro grupo enquadram-se as categorias de produtos para utilização em estrutura, energia, movelaria, artesanato, produção de pequenos objetos, instrumentos musicais, caixotaria, tornearia e construção naval; no segundo grupo, encontram-se as categorias de plantas ornamentais ou de uso paisagístico, insumos para artesanato, uso medicinal, cosmético ou farmacêutico, alimentos, corantes, mudas e sementes, óleos, fibras, produtos químicos e movelaria. A distribuição por espécie dos grupos de produtos florestais levantados na pesquisa de Carvalhaes et al. (2008) pode ser sintetizada de acordo com a figura 3.10.

Figura 3.9. Mapa de cobertura florestal nativa no Estado de São Paulo por bacias hidrográficas. Fonte: Instituto Florestal, Secretaria do Meio Ambiente, 2009.

*Áreas delimitadas com contorno vermelho correspondem a unidades de conservação florestal.

Observa-se que de um total de 69 espécies, apenas 5 espécies (7%) são fornecedoras exclusivas de PFM, enquanto 31 espécies (45%) fornecem unicamente PFNM. Além disso, a pesquisa mostra que dentro das 35 espécies fornecedoras exclusivas e não-exclusivas de produtos florestais madeireiros, só 22 espécies (cerca de 30% do total) fornecem madeira que poderia ser utilizada como estrutura para edificações (Carvalhaes et al., 2008).

Portanto, apesar da grande variedade de produtos provenientes da mata nativa paulista, existe uma pequena parcela de espécies capazes de fornecer PFM que poderiam ser empregados no setor da construção civil. Embora historicamente o interesse comercial na floresta nativa tenha sido focado na exploração de PFM, Carvalhaes et al., (2008) acredita que deva ocorrer uma reorientação dessa conduta no futuro próximo. Isso porque o processo de exploração para espécies nativas que fornecem PFM, além de ser extremamente seletivo e demandar maior tempo de rotação do que a exploração de PFNM, causaria ainda um maior impacto ambiental em um bioma já bastante fragmentado e fragilizado (Reis et al., 2003, cf: Carvalhaes et al., 2008); desse modo, Carvalhaes et al., (2008) conclui que as florestas nativas paulistas, nas condições atuais, não favorecem o corte de árvores para exploração de PFM e que, portanto, enfoque maior deveria ser conferido à exploração de PFNM pois, de acordo com o autor, além da

- Espécies que produzem PFM e PFNM
- Espécies que produzem exclusivamente PFNM
- Espécies que produzem exclusivamente PFM

Figura 3.10. Distribuição de PFM e PFNM por espécies na mata nativa paulista. Fonte: adaptado de Carvalhaes et al., 2008.

boa disponibilidade, a exploração de PFNM não produziria alterações tão significativas na estrutura do componente biótico.

Por outro lado, florestas plantadas em São Paulo, apesar de corresponderem a menos de 5% da área de cobertura florestal do Estado, constituem a segunda maior área de florestas plantadas no país, abaixo apenas do Estado de Minas Gerais (ABRAF, 2010) e, diferentemente das florestas nativas, sua exploração comercial é focada quase exclusivamente na obtenção de PFM.

A maior parte das área de florestas plantadas no Estado de São Paulo (86%) é cultivada com espécies de *Eucalyptus*, representando 23% do total em todo o país (ABRAF, 2010). O restante é cultivado com espécies de *Pinus*, representando 9% da produção de todo o país (ABRAF, 2010). A tabela 3.6 mostra a distribuição da área de florestas nativas e plantadas em São Paulo, assim como o percentual representado por elas em relação à área total do Estado, no ano de 2009.

Nas florestas plantadas do Brasil, de acordo com ABRAF (2011), a taxa média de incremento anual para árvores folhosas é de 40,5 metros cúbicos por hectare e 37,6 metros cúbicos por hectare para árvores coníferas. A alta produtividade, aliada à concentração de árvores da mesma espécie criam um cenário mais favorável para a exploração de PFM nas florestas plantadas do que nas florestas nativas. Assim sendo, a análise subsequente do setor florestal paulista será focada na participação das florestas plantadas e seus produtos derivados na indústria madeireira do Estado.

Tabela 3.6. Área de florestas nativas e florestas plantadas (Eucalyptus e Pinus) no Estado de São Paulo.

	Área (ha)	Percentual
Florestas nativas (2009)*	4.343.000	17,5
Florestas plantadas (Eucalyptus e Pinus)**	1.197.330	4,82
Eucalyptus	1.029.670	4,15
Pinus	167.660	0,67
Total	5.540.330	22,32

*Fonte: Inventário florestal da vegetação nativa do Estado de SP (secretaria do meio ambiente, instituto florestal, 2008-9) mapa inventário

**Fonte: Anuário ABRAF, 2010 (ano base 2009)

Na figura 3.11 podemos observar que os principais maciços de florestas plantadas encontram-se sobretudo na parte central e leste do Estado, respectivamente nos distritos Central, Campinas, Sorocaba, Bauru, São José dos Campos e São Paulo. Além disso, nota-se também a existência de um grande maciço no distrito de Araçatuba, na divisa com o Estado do Mato Grosso do Sul.

Em relação aos tipos de produção florestal (figura 3.12), nota-se que as florestas plantadas, dentre as empresas associadas da ABRAF (que em 2010 detinham 47% da área de florestas plantadas no país), são constituídas majoritariamente por propriedades privadas individuais (65%), definidas como pequenos ou médios produtores que investem em plantios florestais para gerar fonte de renda a partir da comercialização da madeira em tora (ABRAF, 2011); outra parcela significativa é representada pela situação do arrendamento, na qual uma pessoa física ou jurídica cede à outra, mediante retribuição financeira previamente acordada, o direito total ou parcial de um imóvel rural (Florestar SP, 2011). Todavia, nota-se ainda uma carência de propriedades florestais dentro da categoria de fomento, entendida como programas de incentivos à produção florestal cujas modalidades mais frequentes abrangem o fornecimento de mudas de espécies florestais, programas de antecipação de renda ao produtor e garantia da compra de madeira pela empresa à época da colheita (ABRAF, 2011), visando garantir o

Área de plantio por empresas (1000 ha): • 1 - 20; ● 20 - 50; ● 50 - 100; ● > 100

Figura 3.11. Mapa de distribuição esquemática dos principais maciços de florestas plantadas em São Paulo. Fonte: ABRAF, 2011.

suprimento da demanda de matéria-prima por parte das indústrias de base florestal e otimizar a segurança do investimento dos produtores, com redução do montante de capital próprio imobilizado em ativo fixo. Tais programas resultam, geralmente, no aquecimento da economia da região, com a geração de mais empregos e incremento da renda local (ABRAF, 2011).

3.1.5.2 INDÚSTRIA MADEIREIRA

No ano de 2009, a indústria madeireira paulista produziu um total de 21 milhões de metros cúbicos de toras de madeira, sendo a maior parte desse volume (62%) direcionado à indústria de papel e celulose; o restante foi utilizado para outras finalidades, dentre elas: produção de madeira serrada, laminados e painéis reconstituídos (MDF, MDP, Chapa Dura, OSB). A tabela 3.7 sintetiza as informações para produção de toras de madeira, lenha e carvão vegetal no Estado de São Paulo.

De acordo com a tabela 3.8, observa-se que o preço das toras de madeira para utilização na indústria de papel e celulose é cerca de metade do preço das toras para serraria. Além disso, nota-se que no caso das toras de *Pinus* que serão utilizadas em serraria há uma grande variação de preço em função da classe de resistência da madeira. Toras de madeira de *Pinus* de primeira qualidade possuem custo mais elevado que toras de *Eucalyptus* para serraria; toras de *Pinus* de terceira qualidade custam menos da metade que as de primeira. Assim sendo, o valor acrescentado ao custo final das toras para

Figura 3.12. Distribuição das áreas de plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* das associadas individuais da ABRAF por modalidade no Estado de São Paulo em 2010. Fonte: ABRAF, 2011

transporte em uma distância de 100 a 150 quilômetros (tabela 3.8), é mais relevante no caso das toras de menor valor. Estima-se uma participação do custo de transporte de 22 a 33% para toras de madeira que serão utilizadas na indústria do processamento e celulose e uma participação de 10 a 12% no preço das toras para serraria (*Eucalyptus* e *Pinus* S3) que apesar de menor ainda é significativo.

Tabela 3.7. Produção de toras de madeira, lenha e carvão vegetal no Estado de São Paulo em 2009.

Carvão vegetal (ton)	67,012
Lenha (m3)	6,405,078
Tora de madeira - Total (m3)	21,912,557
Tora de madeira para papel e celulose (m3)	13,665,914
Tora de madeira para outras finalidades (m3)	8,246,643

Fonte: IBGE, 2011.

Tabela 3.8. Preços para os isumos madeireiros em outubro de 2009.

Toras de madeira para indústria	R\$/m3*
Toras de Eucalyptus para serraria (SP)	81,70
Toras de Eucalyptus para processamento (SP)	46,30
Toras de Pinus S1 para serraria (PR, SC)	98,30
Toras de Pinus S2 para serraria (PR, SC)	66,90
Toras de Pinus S3 para serraria (PR, SC)	46,20
Toras de Pinus para celulose (PR,SC)	29
custo de transporte (100-150 km)	10

Fonte: Silviconsult, outubro, 2009 (valores para Santa Catarina, Paraná e São Paulo).

* Com casca em pé

Por esse motivo, a instalação das fábricas de processamento de madeira geralmente ocorre nas proximidades das áreas de reservas florestais, especialmente no caso de indústrias que necessitam de matéria-prima com menor valor agregado e, portanto, para as quais o acréscimo com os custos de transporte seria mais significativo, como é o caso da indústria do papel e celulose. A figura 3.13 mostra a confirmação da tendência de instalação das fábricas próximo à zonas de florestas plantadas, mostrando a localização dos principais centros industriais que utilizam toras de *Eucalyptus* como matéria-

prima, sobrepostos com o mapa de localização dos principais maciços florestais.

De acordo com a ABRAF (2010), as importações e exportações de toras de madeira no Brasil são praticamente nulas. Assim sendo, entende-se que a madeira em tora produzida no país é suficiente para suprir a demanda por matéria-prima das indústrias nacionais. Como pode ser observado na figura 3.14, o segmento industrial que mais consome madeira em tora é o da Celulose e papel (37% do volume total de toras de madeira), seguido pela produção de lenha (25% do volume total de toras de madeira). Ambos utilizam principalmente madeira de *Eucalyptus* (80% do volume disponível de toras de *Eucalyptus* é utilizado pelos dois segmentos) e apenas uma pequena parcela de *Pinus* (20% do volume disponível de toras de *Pinus* é utilizado pelos dois segmentos). Por outro lado, o segmento definido como Indústria madeireira, o qual inclui a produção de madeira serrada, laminados e PMVA (produtos de maior valor agregado), ocupa a terceira posição no consumo de toras de madeira (20% do volume total disponível de toras de madeira) e utiliza, predominantemente, madeira de *Pinus*. O segmento da Indústria madeireira não apenas apresenta o maior consumo relativo de madeira de *Pinus*, como também o maior consumo absoluto, utilizando maior volume de toras de madeira dessa espécie que todos os demais segmentos juntos, cerca de 30 milhões de metros cúbicos (52% do volume

○ Celulose; ● Painéis industrializados; ● Siderurgia; ● Multiprodutos; ● Sólidos

Figura 3.13. Localização dos principais centros industriais de *Eucalyptus* sobre mapa de localização dos principais maciços de florestas plantadas. Fonte: adaptado de ABRAF, 2011

disponível de toras de *Pinus*). Por fim, o segmento de produção de painéis reconstituídos apresenta a taxa mais equilibrada entre a utilização de toras de madeira de *Pinus* e *Eucalyptus* (35% e 65%, respectivamente), representa apenas 8% do volume de toras de madeira consumido no país. Portanto, pode-se dizer que, em termos gerais, as toras de *Eucalyptus* produzidas no País são direcionadas ao segmento da celulose e papel, enquanto que as toras de *Pinus* são utilizadas, em sua maior parte, pelo segmento da madeira serrada e laminados.

Além disso, observando a relação entre o consumo interno e exportação nos diversos segmentos madeireiros (figura 3.15), é possível concluir que o segmento da celulose, maior consumidor de toras de madeira no país (figura 3.14), tem a maior parte de sua produção direcionada ao mercado internacional, o que explica a grande demanda por matéria-prima. Todavia há ainda uma parcela significativa de seus produtos comercializada no mercado doméstico, o que leva a concluir que há também larga demanda pelos produtos no mercado brasileiro. De modo análogo, o segmento industrial de laminados também possui mais da metade de sua produção anual exportada para outros países, todavia, como pode ser observado na tabela 3.14, trata-se de um volume substancialmente menor que o da celulose. Em relação aos painéis reconstituídos observa-se que sua produção visa, quase que exclusivamente, o atendimento do mercado doméstico.

Figura 3.14. Consumo de madeira em tora para uso industrial por segmento de atividade, 2010 (em milhões de m3). Fonte: ABRAF, 2011.

*Inclui madeira serrada, compensado e PMVA (produtos de maior valor agregado)

**Inclui cavaco e madeira tratada.

Todavia, a pequena participação deste segmento no total do consumo de toras (tabela 3.14) leva a crer que o mercado interno seja bastante modesto, possivelmente tendo a indústria moveleira como o maior comprador.

Apesar de não estarem disponíveis dados específicos sobre o volume de produtos derivados de madeira produzidos em São Paulo, a partir da distribuição das espécies de árvores das florestas plantadas (tabela 3.7), é possível deduzir que o Estado segue a mesma tendência do país, apresentando uma larga quantidade de Eucalyptus, sobretudo voltada para a produção de celulose e lenha e um volume menor de Pinus, direcionada para a produção de madeira serrada e laminados.

3.1.5.3 Importância econômica do setor madeireiro

Do ponto de vista econômico, o setor madeireiro produziu um valor bruto de R\$ 51 bilhões no ano de 2010 (ABRAF, 2011). Como pode ser observado na tabela 3.9, a maior parte desse valor (56%) foi proveniente do segmento de celulose e papel. A indústria madeireira (que inclui madeira serrada, laminados e PMVA) foi a segunda maior geradora de valor, seguida de perto pelo segmento de painéis reconstituídos.

O Estado de São Paulo possui um PIB de aproximadamente 1 trilhão de

Figura 3.15. Distribuição entre consumo interno e exportação de produtos madeireiros por segmento de atividade. Fonte: ABRAF, 2011.

reais, dentro do qual 9 bilhões de reais (cerca de 1%) correspondem ao valor adicionado bruto pela Silvicultura, Agricultura e Exploração Florestal juntos (IBGE, 2011). Como pode ser observado na tabela 3.10, dentre os produtos provenientes do segmento da silvicultura observa-se a produção de toras de madeira como o principal, gerando um valor de cerca de 1 bilhão de reais, no ano de 2009 (quase 80% do valor total), sendo que quase metade deste valor (49%) foi obtido com toras para a produção de celulose.

Tabela 3.9. Valor Adicionado Bruto pelo setor florestal por segmento produtivo em 2010.

Segmento	Valor (R\$)	Participação (%)
Celulose e papel	29.060.318.880	56,1
Indústria madeireira*	7.597.427.494	14,7
Painéis Reconstituídos**	5.404.456.786	10,4
Siderurgia e carvão vegetal	1.262.202.865	2,4
Total	51.843.375.491	100

Fonte: ABRAF, 2011

*Inclui madeira serrada, compensados e PMVA

**Incluem apenas produtos derivados de florestas plantadas.

Tabela 3.10. Valor da produção de toras de madeira, lenha e carvão vegetal no Estado de São Paulo em 2009.

Produtos	valor (1000 R\$)	Percentual
Tora de madeira - Total	1,117,656	78,5
Tora de madeira para papel e celulose	695,182	48,8
Tora de madeira para outras finalidades	422,474	29,7
Carvão Vegetal	65,722	4,6
Lenha	240,403	16,9

Fonte: IBGE, 2011.

Em relação às exportações, o setor madeireiro contribuiu para a balança comercial do país com US\$ 7,5 bilhões, representando 4,4% do total do valor dos produtos industriais exportados em 2010 (SECEX/MDIC, 2011). A figura 3.16 mostra a participação de cada segmento produtivo nas exportações do setor, no ano de 2010. Os segmentos de papel e celulose foram responsáveis pela maior parte do valor obtido com as exportações, representando 90%

do total. Em terceiro lugar, aparece o segmento dos laminados com uma participação de apenas 5% no valor total gerado pelas exportações do setor madeireiro.

À exemplo do que acontece no resto do país, os principais produtos de exportação do setor madeireiro no Estado de São Paulo concentram-se no segmento da produção de celulose e papel (fibra mecânica, pasta química de madeira, papel e papel kraft) que, em 2010, representaram aproximadamente, 2,23% (US\$ 1.163.328.754) do valor total obtido com as exportações no Estado (MDIC,2011).

De acordo com o Censo Agropecuário (IBGE, 2006), 904.805 pessoas estavam empregadas pelos setores da Silvicultura, agricultura e pecuária em São Paulo. Observando a estimativa de distribuição de empregos (diretos e indiretos) no setor madeireiro por segmento de atividade, em 2010 (Figura 3.17), percebe-se que segmentos de maior porte na economia, ou seja, responsáveis pela maior geração de valor (silvicultura e celulose), na verdade, empregam diretamente número relativamente pequeno de pessoas. Isso pode ser creditado ao maior volume de capital investido nesses segmentos, o que resulta em uma maior mecanização com aumento da produtividade e diminuição da demanda por mão-de-obra. No caso dos segmentos produtores de madeira serrada, PMVA e mobiliário a situação é inversa: tais setores necessitam de uma maior quantidade de mão-de-obra empregada

Figura 3.16. Exportações brasileiras de produtos de florestas plantadas em 2010. Fonte: ABRAF, 2011.

* MDP, MDF, Chapa Dura e outros

** Inclui apenas coníferas

*** Incluem molduras, blocks e EGP (Edge-glued panels)

diretamente na produção. Isso leva a crer que exista uma defasagem tecnológica entre os meios de produção utilizados pelos segmentos de produtos de madeira e móveis em comparação aos da Silvicultura e celulose.

3.1.5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O SETOR MADEIREIRO EM SÃO PAULO

São Paulo possui área de cobertura florestal relativamente pequena, levando-se em conta o tamanho do Estado. Não obstante, a maior parte é constituída de florestas nativas, nas quais a exploração intensiva de PFM seria problemática devido à necessidade de seleção das espécies de interesse, baixa taxa de incremento anual das árvores da floresta nativa e impacto ambiental gerado pela exploração intensa do recurso. Por outro lado, no caso das florestas plantadas observa-se uma especialização no plantio de espécies fornecedoras de PFM que apresentam elevada taxa de incremento anual. Em sua maioria as florestas plantadas do Estado são constituídas de espécies de Eucalyptus (80%) e, em uma parcela menor, espécies de Pinus (20%).

A distribuição de espécies plantadas reflete a demanda da indústria madeireira brasileira, utilizando toras de Eucalyptus como matéria-prima para a produção de papel e celulose, principalmente, para o abastecimento do mercado externo. Outra parcela significativa do Eucalyptus é utilizada

Figura 3.17. Estimativa da distribuição de empregos diretos, indiretos do setor de florestas plantadas por segmento de atividade em 2010. Fonte: ABRAF, 2011.

* Inclui painéis reconstituídos, madeira serrada e PMVA

como lenha e carvão no mercado doméstico. Por outro lado, a madeira proveniente das plantações de Pinus é direcionada sobretudo ao segmento de beneficiamento, que inclui a produção de Laminados, PMVA e madeira serrada, apresentando o terceiro maior volume consumido de toras de madeira no país.

Tanto em volume consumido como em geração de renda, o segmento do papel e celulose tem grande destaque, sendo responsável por 56% do valor adicionado bruto e 90% do valor gerado com as exportações do setor florestal. Todavia, em relação à geração de empregos diretos verifica-se um maior potencial no segmento de produtos de madeira, sobretudo na produção de madeira serrada e PMVA, que, justamente por não produzirem tanto valor quanto os segmentos da celulose e papel, não recebem o mesmo volume de investimentos. Isso faz com que o segmento de produtos madeireiros opere com uma menor mecanização e automação da produção, desse modo, demandando maior quantidade de mão-de-obra.

3.1.6 CONCLUSÃO

3.1.6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tabela 3.11 sintetiza as informações gerais sobre o contexto florestal e indústria madeireira da Áustria e São Paulo.

Na tabela 3.1 observa-se que apesar do Estado de São Paulo apresentar área territorial quase três vezes maior que a Áustria, possui cobertura florestal apenas 1,5 vezes maior. Entretanto, situação torna-se mais desigual quando comparada a área de florestas austríacas dedicadas exclusivamente à exploração comercial de madeira com a área de florestas plantadas em São Paulo, também dedicadas exclusivamente à exploração de madeira. Nesse caso a situação inverte-se e a Áustria apresenta cerca de 3 vezes mais área para exploração de PFM que o Estado de São Paulo. Assim sendo, entende-se que São Paulo possui área de cobertura florestal bastante limitada e, tanto em termos relativos quanto absolutos, pouca área voltada para a exploração de PFM.

Apesar dessa desvantagem inicial, por apresentarem maior produtividade (com uma taxa média de incremento anual 4 a 6 vezes maior que as florestas austríacas), as florestas plantadas do Estado de São Paulo conseguem produzir anualmente praticamente o mesmo volume de toras de madeira

que a Áustria. Nota-se, entretanto, uma distribuição oposta das espécies produzidas em cada local. Tal situação é decorrente da diferença entre os principais segmentos produtivos na indústria madeireira dos casos estudados: na Áustria, maior volume de toras de madeira será utilizado para processamento em serraria ou na indústria de laminados (17 milhões de metros cúbicos), visando à fabricação de produtos com alto valor agregado; já em São Paulo, a maior parte das toras produzidas será processada na indústria de papel e celulose (13,5 milhões de metros cúbicos), resultando em produtos com pouco valor agregado.

Tabela 3.11. Principais informações sobre o setor florestal na Áustria e em São Paulo.

	Áustria*	São Paulo**
Área total (ha)	8.387.899	24.819.696
Área de cobertura florestal (ha)	3.606.796	5.540.330
Percentual de área de cobertura florestal	43,4	22,32
Área de florestas comerciais/ plantadas	3.335.927	1.197.330
Taxa de incremento anual (m3/ha)	6,7 - 10,4	37,6 - 40,5
Percentual de espécies coníferas	66,9	14
Percentual de espécies folhosas	23,8	86
Produção anual de toras para indústria madeireira - total (m3)	20.179.775	21.912.557
Produção anual de toras de madeira para papel e celulose (m3)	2.892.810	13.665.914
Produção anual de toras de madeira para outras finalidades (m3)	17.286.965	8.246.643
Valor adicionado bruto no PIB	EUR 5,1 bilhões	R\$ 9 bilhões
Valor percentual	2,2	1
Empregos diretos e indiretos nos setor madeireiro e agropecuária	495.804	904.805

* Fontes: Austrian Forest Report (2008); FAOSTAT (2001); ÖWI (2000/2002); Statistik Austria (2011); Weiss (2010).

** Fontes: ABRAF (2010,2011); IBGE (2011); Instituto Florestal (2008); Silviconsult (2009).

Portanto, pode-se dizer que a oferta de insumos para a indústria madeireira nos dois locais apresenta características divergentes: na Áustria existe uma boa oferta de madeira serrada de coníferas para beneficiamento em

produtos derivados (compensados, madeira laminada, CLT), enquanto em São Paulo, a oferta de produtos madeireiros é maior para espécies de folhosas (Eucalyptus), principalmente no formato de toras ou polpa para processamento pela indústria de papel e celulose. Cabe ressaltar que a produção de ambos os países é voltada para a exportação, todavia, como mencionado, ao contrário do Brasil, a Áustria exporta produtos beneficiados de alto valor agregado

Do ponto de vista econômico, apesar de a diferença entre o valor adicionado bruto pelos setores da silvicultura e agropecuária em cada caso estudado ser em torno de 30%, quando observada a participação percentual no PIB, nota-se que esta apresenta maior peso na economia austríaca, representando mais que o dobro de pontos percentuais do que os encontrados no caso paulista.

Por fim, em relação ao número de empregos diretos e indiretos a situação é, mais uma vez, inversa: o setor madeireiro e agropecuária em São Paulo emprega o dobro de trabalhadores que os mesmo setores na Áustria. Isso pode ser creditado à diferença no grau de modernização da produção encontrado em cada país, fruto de investimentos em tecnologia de produção, especialmente no setor de beneficiamento da indústria madeireira austríaca, resultando em uma maior mecanização e automação da produção.

3.1.7 REFERÊNCIAS

3.1.7.1 RELATÓRIOS

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAOSTAT - **Forestry 2011**. Disponível em: <<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>>. Acesso em 3 de novembro de 2011.

STATISTIK AUSTRIA. **Statistisches Jahrbuch**, 2011 (ano base 2009). Disponível em: <<http://www.statistik.at>>. Acesso em 3 de outubro de 2011.

BUNDESAMT FÜR WALD (BFW). **Österreichischen Waldinventur (ÖWI)**, 2000-2002. Disponível em: <<http://bfw.ac.at/700/790.html>>. Acesso em 10 de novembro de 2011.

BUNDESAMT FÜR WALD (BFW). **Austrian Forest Report**, 2008. Disponível em: <<http://bfw.ac.at>>. Acesso em 10 de novembro de 2011.

WEISS, G.; HUBER, W.; SCHWARTZBAUER, P. **Prospects for the market supply of wood and other forest products from areas with fragmented forest-ownership structures Case study: Austria**. Viena: University of Natural Resources and Applied Life Sciences Vienna (BOKU) Department of Economics and Social Sciences, 2010. Disponível em: <http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/supply-wood/austria_en.pdf>. Acesso em 5 de novembro de 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ABRAF 2011, ano base 2010**. Brasília, 2011. Disponível em: <www.abraflor.org.br>. Acesso em 23 de novembro de 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico ABRAF 2010, ano base 2009**. Brasília, 2010. Disponível em: <www.abraflor.org.br>. Acesso em 23 de novembro de 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Estados@, São Paulo**, 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em 12 de dezembro de 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agrário**, 2006. Disponível em: <www.ibge.gov.br/>. Último acesso em 12 de dezembro de 2011.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - INSTITUTO FLORESTAL. **Inventário Florestal da vegetação nativa do Estado de São Paulo 2005**. Disponível em <www.iflorestal.sp.gov.br>. Acesso em 23 de nov. de 2011.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE - INSTITUTO FLORESTAL. **Mapa do Inventário Florestal da vegetação nativa do Estado de São Paulo 2009**. Disponível em <www.iflorestal.sp.gov.br>. Acesso em 23 de nov. de 2011.

SCHICKHOFER, G. **CLT - European Experiences**. Palestra proferida no Institute For Timber Engineer And Wood Technology. Vancouver, 2011.

SCHUCK, A.; BRUSSELEN, J. V.; PÄIVINEN, R.; HÄME, T.; KENNEDY, P.; FOLVING, S. **Internal Report 13**. European Forest Institute, Joensuu, Finland, 2002. Disponível em: <<http://www.efi.int>>. Acesso: 13 de setembro de 2011.

3.1.7.2 REVISTAS

PÖYRY SILVICONCONSULT. **Boletim de preço**. In: Radar Silviconsult, n. 1, nov. 2000. Silviconsult Engenharia: Curitiba, 2009. Disponível em: <www.silviconsult.com.br>. Acesso em 5 de dezembro de 2011.

CARVALHAES, M. A.; OLIVEIRA, R. E.; SANTOS, J. D.; et. al. **Produtos florestais madeireiros e não madeireiros da mata atlântica brasileira: oportunidades para a conservação e a restauração florestal**. In: Florestar Estatístico, v. 11, número 20. Instituto Florestal, São Paulo: Fundação Florestal, Fundo florestar, 2008.

3.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS PARA FABRICAÇÃO DO ELEMENTO MW5 EM VIENA E NO ESTADO DE SÃO PAULO.

Resumo: o objetivo deste tópico é comparar os custos para fabricação do elemento vertical MW5 em Viena e no Estado São Paulo, visando determinar quais os procedimentos ou materiais envolvidos no processo de fabricação do MW5 que mais influem na adequação dessa solução ao setor madeireiro local. Primeiramente, o orçamento para a fabricação do MW5 em Viena, desenvolvido na pesquisa *Holzbauweissen für den Verdichteten Wohnbau*, foi transcrito. Os valores foram então analisados do ponto de vista da participação percentual de cada etapa no custo total de fabricação e participação percentual de cada material nos gastos com matéria-prima. A seguir, utilizando a mesma quantificação de material e horas de trabalho, foi elaborada uma estimativa de custos para a produção do MW5 na RMSP. Os valores obtidos foram analisados do ponto de vista da participação percentual de cada etapa no custo total de fabricação e participação percentual de cada material nos gastos com matéria-prima. Os preços dos materiais utilizados e remuneração de mão-de-obra foram obtidos no banco de dados da PINIweb, Guia da construção, para janeiro de 2012.

Por fim, os dois orçamentos foram comparados. Obteve-se que, diferentemente de Viena, os gastos com remuneração do trabalho em São Paulo tem pouca influência no custo de produção do elemento; por outro lado, gastos com madeira serrada, materiais de isolamento e revestimento apresentam maior participação percentual no custo de produção do elemento em São Paulo.

Palavras-chave: indústria madeireira, madeira laminada cruzada, pré-fabricação em madeira, painel maciço em madeira, orçamento.

Abstract: *The purpose of this topic is to analyse the MW5 element's manufacturing costs in Vienna and São Paulo. It intendeds to determine which of the manufacturing procedures or materials most influence the suitability of this solution to the local forestry industry. First, cost estimate for MW5's production in Vienna, developed in the research Holzbaueissen für den Verdichteten Wohnbau, was transcribed. It's values were*

analysed in terms of the production's steps share in total manufacturing cost and material's share among the raw materials costs. Afterwards, using the same material and labor quantification, a cost estimation for MW5's production in São Paulo was developed. The values were also analysed from the standpoints of production's steps share in the total manufacturing cost and material's share among the raw materials costs. The material prices and labor costs were retrieved from the PINIweb, Guia da Construção database, for January 2012. Finally, the two cost estimates were compared. It was found that, unlike Vienna, labor costs in the State of São Paulo have little influence on the total element's production costs; on the other hand, sawn timber, insulation and cladding material costs present a much higher percentage share in the element production costs in São Paulo than in Vienna.

Keywords: *forestry industry, cross laminated timber, wood pre-fabrication, solid wood panel, cost estimation.*

3.2.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

3.2.1.1 ÁUSTRIA X SÃO PAULO

O setor madeireiro austríaco difere do Paulista nos seguinte quesitos: área de reservas florestais para exploração econômica de produtos madeireiros, oferta de toras de madeira para utilização na indústria madeireira e oferta de produtos beneficiados e derivados de madeira, tais como madeira serrada, laminada e chapas de madeira reconstituída (item 3.1). Assim sendo, torna-se importante avaliar como essas divergências interferem ou até mesmo inviabilizam a adaptação de determinada solução austríaca para o contexto de São Paulo.

Assim sendo, este tópico desenvolve um estudo comparativo dos custos de fabricação do elemento MW5 em Viena e no Estado São Paulo. O elemento MW5 foi escolhido pois, foi a única solução que utiliza um modelo “artesanal” para fabricação dos painéis e, portanto, apresenta o maior potencial para apropriação dentro das possibilidades e limitações da indústria madeireira brasileira (item 3.1.5.4). Além disso, dentre todos os produtos estudados (itens 2.1 e 2.2), apresentou o melhor desempenho em termos de aproveitamento do material empregado na camada transversal, não necessitando de adesivo poliuretano para solidarização das diferentes camadas.

3.2.2 OBJETIVO DE PESQUISA

3.2.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O tópico desenvolve uma estimativa de custos para fabricação do elemento vertical MW5 na RMSP e compara os valores obtidos com o custos para fabricação do mesmo elemento em Viena, visando determinar quais procedimentos ou materiais envolvidos mais influem no preço de fabricação do elemento no Estado de São Paulo. Desse modo, objetiva-se obter subsídios para o aprimoramento do desenho do produto, buscando sua melhor adaptação ao contexto florestal e indústria madeireira paulistas.

3.2.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

3.2.3.1 MÉTODO

Primeiramente, a estimativa de custos para fabricação do elemento MW5 elaborada pela pesquisa *Holzbauweissen für den Verdichteten Wohnbau* foi transcrita e analisada do ponto de vista do custo total por metro quadrado e participação percentual de cada etapa produtiva e grupo de materiais no custo total de fabricação.

A seguir, utilizando como base a mesma quantificação de material e horas de trabalho, foi elaborada uma estimativa de custos para a fabricação do MW5 na RMS, substituindo-se os valores de Viena por valores orçados para o Estado. As informações sobre os preços dos materiais e remuneração da mão-de-obra foram obtidas no banco de dados da PINIweb, Guia da construção, em janeiro de 2012. A estimativa de custos para fabricação do MW5 em São Paulo foi analisada do ponto de vista da participação percentual de cada etapa produtiva e grupo de materiais no custo total de fabricação.

Por fim, os valores obtidos na estimativa de custos para fabricação do MW5 em Viena e em São Paulo foram comparados em termos da participação percentual de cada etapa produtiva e grupo de materiais nos custos totais.

3.2.4 ELEMENTO MW5

3.2.4.1 DESCRIÇÃO

O elemento vertical MW5 é constituído por peças de madeira serrada (seções de 40 x 100, 180, 220 milímetros; 80 x 100 e 60 x 240 milímetros), e uma chapa de compensado sarrafeado de 3 camadas (20 milímetros de espessura). Além dos produtos de origem madeireira, são utilizados também isolante térmico de lã de rocha (50 milímetros de espessura) e chapas de gesso acartonado (12,5 milímetros de espessura) para o isolamento e revestimento do elemento. A figura 3.18 mostra a seção do elemento final (245 milímetros de espessura).

O elemento possui dimensões exteriores de 2,32 metros de largura por 6 metros de altura e foi construído para ocupar a altura total da construção, pois, de acordo com os resultados da pesquisa da *Holzbauweissen Für Den Verdichteten Wohnbau*, o aumento no tamanho dos componentes resulta em

Figura 3.18. Seção do elemento MW5. Fonte: adaptado de Winter et al, 2001.

economia nos custos de produção e instalação. Na parte central encontra-se a chapa de compensado sarrafeado, percorrendo toda a dimensão longitudinal do componente. Sobre ela são parafusadas tábuas com 40 x 180 milímetros de espessura. No centro do painel, em cada face, é parafusado um pilarete com seção de 80 x 100 milímetros. Nas laterais, tábuas de 40 x 100 e 40 x 220 milímetros são fixadas perpendicularmente à chapa de compensado sarrafeado, visando aumentar a resistência do elemento ao empenamento. Adicionalmente, são colocadas vigas transversais com seção de 60 x 240 milímetros no centro e nas extremidades do painel para fixação da estrutura do piso (peça central) e aumento da rigidez lateral do elemento. Perfis quadrados de madeira (50 milímetros) são fixados longitudinalmente ao elemento para a instalação do isolante térmico de lã de rocha e revestimento. O elemento é fechado em ambos os lados com chapas de gesso acartonado (12,5 mm de espessura). A figura 3.19 apresenta uma perspectiva isométrica mostrando todos os componentes constituintes do elemento vertical MW5.

3.2.5 VIENA

3.2.5.1 ESTIMATIVA DE CUSTOS

A tabela 3.12 sintetiza os custos de materiais e gastos com mão-de-obra por metro quadrado para a fabricação do MW5. Os dados foram transcritos da pesquisa *Holzbauweisen für die Verdichteten Wohnbau*, (2001).

Figura 3.19. Perspectiva isométrica mostrando os componentes do elemento MW5. Fonte: adaptado de Winter et al, 2001.

Tabela 3.12. Estimativa de custo por metro quadrado para produção do elemento MW5 em Viena.

Item	Qtd./m²	Preço unitário (€)	Preço total (€/m²)
Núcleo de madeira			
Materiais			
Compensado sarrafeado de 3 camadas (e = 20mm)	1 m2	19,09	19,09
Tábuas (e = 40mm)	0,08 m³	178,31	14,26
Pilaretes (80 x 100 mm)	0,019 m³	244,57	4,65
Viga (60 x 240 mm)	0,02 m³	301,85	6,04
Parafuso auto-perfurante (50 mm)	1,0526 kg	0,85	0,90
Mão-de-obra			
Carpinteiro	0,42 hr	35,10	14,74
Sub-total			59,68
Revestimento e isolamento			
Materiais			
Chapa de gesso acartonado (e = 12,5 mm)	2 m²	2,97	5,93
Lã de rocha (e = 50 mm)	2 m²	2,53	5,05
Batente de madeira (50 x 40 mm)	4 pc	0,98	3,93
Mão-de-obra			
Carpinteiro	0,35 hr	35,10	12,29
Sub-total			27,20
Instalação do elemento			
Mão-de-obra			
Carpinteiro	0,1 hr	35,10	3,51
Total			90,40

Fonte: Winter, et al., 2001.

3.2.5.2. ANÁLISE DA ESTIMATIVA DE CUSTOS

Na figura 3.20, observa-se que metade de todo o custo de fabricação do MW5 em Viena é decorrente dos materiais empregados no núcleo maciço de madeira. Além disso, constata-se também uma parcela significativa dos

gastos com remuneração da mão-de-obra, representando pouco mais de um terço do custo total (34%). A etapa de isolamento e revestimento do elemento apresentam uma participação moderada no custo total, respondendo por menos de um quinto dos gastos (17%).

Exclusivamente em relação aos custos dos materiais, observamos na figura 3.21 que a madeira serrada ocupa a maior parcela dos gastos com matéria-prima, representando quase metade do total (48%). A chapa de madeira compensada sarrafeada vem em seguida, ocupando pouco menos de um terço do gasto total com materiais (32%).

Todavia, de acordo com a tabela 3.12, notamos que um metro quadrado do elemento MW5 contém 0,12 metros cúbicos de madeira serrada e apenas 0,02 metros cúbicos de madeira compensada. Ou seja, o volume utilizado de madeira compensada é 6 vezes menor que o volume de madeira serrada. Porém, a primeira participa nos custos de fabricação com cerca de dois terços do percentual da segunda (figura 3.21). Essa aparente desigualdade na participação percentual de cada produto madeireiro em relação ao volume empregado pode ser explicada pelo fato da chapa de madeira compensada ser um produto com maior processamento, portanto, apresentando maior valor agregado do que a simples madeira serrada de conífera.

Por sua vez, gastos com os materiais empregados no isolamento e revestimento do MW5 apresentam uma participação equilibrada,

Figura 3.20. Participação do núcleo maciço de madeira, remuneração de mão-de-obra e isolamento/revestimento nos custos de produção do MW5 em Viena.

representando 8 e 10%, respectivamente. Por último, os metais utilizados na fabricação do elemento para fixação dos diversos componentes respondem por apenas 1% do gasto total com materiais (figura 3.21).

Tabela 3.13. Custo de sistemas construtivos para elementos estruturais verticais em Viena.

MW5	(€/m²)
Núcleo maciço	59,68
Isolamento e revestimento	27,20
Instalação em canteiro	3,51
Total	90,39
CLT (KLH)	
KLH 140 mm	68,42
Isolamento e revestimento	29,64
Instalação em canteiro	4,90
Total	102,96
Alvenaria estrutural	
Blocos de concreto 250 mm	65,16
Isolamento e revestimento	22,44
Total	87,60

Fonte: Winter, et al., 2001

Figura 3.21. Distribuição dos gastos com materiais por metro quadrado para fabricação do elemento MW5 em Viena.

Em comparação com outros sistemas construtivos para execução de elementos estruturais verticais na construção habitacional austríaca, o elemento MW5 mostrou-se uma solução competitiva do ponto de vista econômico. De acordo com Winter (2001), observado o critério de equivalência térmica entre os sistemas construtivos, um elemento vertical em CLT da empresa KLH (140 mm de espessura), com os mesmos materiais para isolamento térmico e vedação e nas mesmas dimensões do MW5, apresentaria um custo de 102,96 €/m². Caso fosse realizado em alvenaria estrutural de blocos de concreto (250 mm de espessura) com isolamento térmico nos espaços vazios dos blocos e uma camada de argamassa em cada face, uma parede com as mesmas dimensões do MW5 custaria 87,6 €/m².

3.2.5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE O CUSTO DE FABRICAÇÃO DO MW5 EM VIENA

A solução MW5 para elementos verticais utiliza produtos amplamente disponíveis na indústria madeireira austríaca (item 3.1.4.2): madeira serrada de conífera (*Picea abies*) e chapa de madeira beneficiada (chapa de madeira compensada sarrafeada).

A boa oferta no mercado austríaco dos produtos utilizados no MW5 reduz os gastos de materiais nos custos do elemento e, conseqüentemente, reduz seu preço final. Isso pode ser comprovado pela competitividade da solução, do ponto de vista econômico, em relação à sistemas construtivos tradicionais como a alvenaria estrutural ou mesmo comparado à solução para elementos verticais utilizando CLT (tabela 3.13).

No entanto, verifica-se que o custo da mão-de-obra, devido à alta remuneração dos carpinteiros na Áustria (tabela 3.12), tem impacto bastante significativo no custo de fabricação do elemento, representando quase um terço do custo final do MW5 (figura 3.20). Desse modo, o caráter “artesanal” do processo produtivo do elemento, na Áustria, faz com que os gastos com mão-de-obra limitem uma produção mais econômica do elemento e sua maior competitividade com outras soluções construtivas.

3.2.6 SÃO PAULO

3.2.6.1 ESTIMATIVA DE CUSTOS

A tabela 3.14 sintetiza os custos de materiais e gastos com mão-de-obra por metro quadrado para a fabricação do MW5 em São Paulo. Foi utilizada

a mesma quantificação de material e horas de trabalho da pesquisa *Holzbauweissen für die Verdichteten Wohnbau*, (2001), substituindo-se os valores dos materiais e serviços por valores orçados para a RMSP. As informações sobre os preços dos materiais e remuneração da mão-de-obra foram obtidas no banco de dados da PINIweb, Guia da construção, em janeiro de 2012.

3.2.6.2 ANÁLISE DA ESTIMATIVA DE CUSTOS

Pode ser observado na figura 3.22 que quase metade (48%) do custo para fabricação do elemento MW5 na RMSP seria gasto com materiais do núcleo maciço de madeira; outra metade seria utilizado na compra dos materiais empregados para isolamento térmico e revestimento do elemento. Nota-se também que a parcela referente à remuneração de mão-de-obra dos carpinteiros possui uma participação bastante modesta nos custos para a fabricação do MW5 em São Paulo, representando apenas 2% do total.

Exclusivamente em relação aos gastos com materiais, nota-se uma distribuição equivalente entre as categorias (figura 3.23). Os produtos madeireiros (madeira serrada e chapa de compensado) representam pouco menos da metade (46%) dos gastos totais, sendo que a madeira serrada ocupa a maior parcela (32% do total), enquanto a chapa de madeira compensada demanda 14%. Os materiais empregados no isolamento e revestimento

Figura 3.22. Participação do núcleo maciço de madeira, remuneração de mão-de-obra e isolamento e revestimento nos custos de fabricação do MW5 em São Paulo.

Tabela 3.14. Estimativa de custo por metro quadrado para produção do elemento MW5 em SP.

Item	Qtd./m²	Preço unitário (R\$)	Preço total (R\$/m²)
Núcleo de madeira*			
Materiais			
Compensado laminado naval (e=20mm)**	1 m2	29,42	29,42
Tábuas (e = 40mm)	0,08 m³	519,05	41,52
Pilaretes (80 x 100 mm)	0,019 m³	519,05	9,86
Viga (60 x 240 mm)	0,02 m³	519,05	10,38
Parafuso auto-perfurante (50 mm)	1,0526 kg	9,43	9,93
Mão-de-obra			
Carpinteiro	0,42 hr	4,94	2,07
Sub-total			103,19
Revestimento e isolamento			
Materiais			
Chapa de gesso acartonado (e = 12,5 mm)	2 m²	34,22	68,44
Lã de vidro (e = 50 mm)***	2 m²	16,32	32,64
Batente de madeira (50 x 40 mm)	4 pc	1,30	5,20
Mão-de-obra			
Carpinteiro	0,35 hr	4,94	1,73
Sub-total			108,01
Instalação do elemento			
Mão-de-obra			
Carpinteiro	0,1 hr	4,94	0,49
Total			211,69

Valores orçados na PINIweb/ Guia da construção, para o Estado de São Paulo em janeiro de 2012.

* Foi utilizado o valor do metro cúbico para madeira serrada de Pinus.

** Foi utilizada madeira compensada laminada ao invés de madeira compensada sarrafeada, devido à falta de dados referente ao preço do produto. Valor orçado em Depósito de madeiras na região metropolitana de São Paulo.

*** Foi utilizado isolante de lã de vidro ao invés de isolante lã de rocha, devido à falta de dados referente ao preço do produto.

participam com cerca de metade dos gastos totais (49%), sendo que a maior parte dos recursos (33%) é utilizada nas chapas de gesso acartonado.

De acordo com a tabela 3.14, observa-se que, em um metro quadrado do elemento MW5, são utilizados 0,12 metros cúbicos de madeira serrada e 0.02 metros cúbicos de madeira compensada. Ou seja, o volume utilizado de madeira compensada é 6 vezes menor que volume de madeira serrada. Observa-se na Figura 3.23 que a primeira participa no custo dos materiais com menos da metade do valor da segunda. Essa participação diferente nos custo materiais em São Paulo comparados aos valores de Viena (figura 3.21) contraria a idéia de que um material mais processado, no caso a madeira compensada, apresenta valor agregado muito maior que o menos processado, no caso, a madeira serrada.

Esse resultado pode ser explicado pela baixa oferta de madeira serrada de coníferas no contexto paulista, tendo em vista que toras de *Pinus* produzidas no Estado visam, predominantemente, o processamento na indústria de laminados e painéis reconstituídos (item 3.1.5.2). Desse modo, a baixa disponibilidade de madeira serrada acaba levando a um aumento no valor de seu metro cúbico em São Paulo, o que por sua vez, resulta em um produto com valor mais equivalente ao da madeira compensada.

No caso dos materiais utilizados para isolamento térmico e revestimento

- Madeira serrada

● Madeira compensada

● Gesso acartonado

● Isolamento

● Metais

Figura 3.23. Distribuição dos gastos com materiais por metro quadrado para fabricação do elemento MW5 em São Paulo.

do elemento, a chapa de gesso acartonado demanda 33% do total, enquanto a lã de vidro requer 16% dos recursos. Destaca-se também o gasto com conectores metálicos (parafusos auto-perfurantes) que ocupam cerca de 5% do gasto total com materiais.

3.2.6.3 Considerações finais sobre o custo de fabricação do MW5 em São Paulo

Observou-se que os gastos com produtos madeireiros representam um pouco menos da metade do custo total para fabricação do elemento MW5 em São Paulo, sendo que a madeira serrada ocupa uma parcela de 32% enquanto a chapa de madeira compensada participa com 14% do gasto com materiais (figura 3.23). Relacionando a participação percentual desses produtos com os respectivos volumes empregados, é possível concluir que a madeira serrada possui um preço excessivo, decorrente de sua baixa oferta no mercado paulista (item 3.2.6.2).

Além disso, cabe ressaltar que o banco de dados utilizado para obtenção do preço dos materiais (PINIweb) possui apenas um valor fixo para o preço do metro cúbico de madeira serrada de Pinus. Portanto, tal banco de dados não leva em conta a seção da peça de madeira utilizada. Desse modo, é possível ainda questionar se haveria de fato a disponibilidade de peças robustas de madeira serrada de Pinus, como as empregadas no elemento MW5.

Em caso afirmativo, mesmo que tais peças estejam disponíveis nas seções necessárias para fabricação do MW5, entende-se que sua oferta seria bastante limitada. Assim sendo, isso acarretaria possivelmente no aumento do preço do metro cúbico da madeira serrada. Consequentemente, observaríamos uma maior participação da madeira serrada nos gastos com materiais e também uma elevação do custo final de fabricação do elemento. Portanto, considera-se que a utilização de seções robustas de madeira serrada de coníferas podem comprometer o desempenho econômico da solução no contexto paulista.

Em relação aos demais materiais empregados no elemento, observa-se um alto custo dos produtos utilizados para isolamento térmico e revestimento. Tanto em termos absolutos quanto em termos relativos, há maior gasto com a etapa de isolamento e revestimento do que com o núcleo maciço de madeira (tabela 3.13 e figura 2.22). Isso indica a inadequação das chapas de gesso acartonado e isolamento de lã de vidro como solução econômica para

a produção do elemento MW5 no Estado São Paulo. Nota-se ainda um gasto elevado com conectores metálicos (parafusos auto-perfurantes), utilizados para fixação dos diversos componentes

Por fim, destaca-se a baixa influência dos gastos com remuneração dos carpinteiros no custo para fabricação do elemento, o que permite concluir que processos produtivos com utilização intensiva de mão-de-obra são competitivos do ponto de vista econômico no Estado, devido à condição de baixa remuneração do trabalho.

3.2.7 CONCLUSÃO

3.2.7.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando os custos para fabricação do elemento MW5 em Viena e em São Paulo, nota-se que a maior diferença diz respeito à remuneração da mão-de-obra. Em Viena, os gastos com os salários dos carpinteiros tem grande participação no custo de fabricação do elemento (34% do total - figura 2.20). Desse modo, entende-se que o caráter “artesanal” do processo produtivo do MW5, em Viena, é responsável por uma elevação de seu custo final.

Por outro lado, em São Paulo, a remuneração da mão-de-obra teria pouquíssima influência no custo de fabricação do elemento (2% do total - figura 3.22), devido à baixa remuneração dos carpinteiros. Assim sendo, pode-se concluir que processos produtivos que demandem utilização intensiva de mão-de-obra seriam mais adequados ao contexto paulista do que ao contexto austríaco, pois, teriam menor influência no custo final do componente.

Nota-se que em ambos os casos os gastos com os materiais empregados no núcleo maciço foram responsáveis por aproximadamente 50% do custo de fabricação do elemento. Todavia, observando-se individualmente os produtos madeireiros empregados (madeira serrada de coníferas e chapa de madeira compensada), percebe-se que, em Viena, a participação da madeira serrada e chapa de madeira compensada nos gastos com materiais foi de 48% e 35%, respectivamente (figura 3.20), enquanto em São Paulo foi de 32% e 14%, respectivamente (figura 3.23).

A menor diferença entre a participação da madeira serrada e chapa de madeira compensada no contexto austríaco é decorrente de uma boa oferta

da primeira que, por se tratar de material pouco beneficiado, possui menor valor agregado que a segunda. Já no contexto paulista, a maior diferença entre a participação de madeira serrada e chapa de madeira compensada é decorrente da baixa oferta da primeira, o que eleva seu preço, equilibrando-o com um material de maior valor agregado como a madeira compensada. Portanto, conclui-se que a utilização de seções robustas de madeira serrada de coníferas pode acarretar na elevação do custo final para fabricação do componente MW5, dependendo da disponibilidade dessas peças no mercado paulista.

A participação dos materiais empregados no isolamento e revestimento no custo de fabricação do elemento em cada local também apresentou diferenças significativas. Em Viena, os gastos com lâ de rocha e chapas de gesso acartonado representam menos de um quinto do gasto com materiais (17% - figura 3.20); em São Paulo, estes produtos são responsáveis por metade do gasto com materiais (50% - figura 3.22). Por esse motivo, conclui-se que a utilização de tais produtos para o isolamento térmico e revestimento não seria a solução mais adequada do ponto de vista econômico para a fabricação do elemento MW5 em São Paulo.

Por fim, foi possível observar que a participação dos conectores metálicos (parafusos auto-perfurantes) no custo de fabricação do elemento foi cinco vezes maior em São Paulo. Isso aponta para a necessidade de substituição dos conectores empregados por outros de menor valor.

3.2.8 REFERÊNCIAS

3.2.8.1 LIVRO

WINTER, W.; DREYER, J.; SHÖBER, H. Holzbauweisen für den verdichteten Wohnbau. Viena: Haus der Zukunft, 2001.

3.2.8.2 PÁGINA DE INTERNET

PINIWEB. **Guia da construção, preços pesquisados**, 2012. Disponível em <<http://www.construcaomercado.com.br/pmp/>>. Acesso, 03 de janeiro de 2012.

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A ANÁLISE COMPARATIVA

Apesar da Áustria ser consideravelmente menor que o Estado de São Paulo, possui área de cobertura florestal dedicada à exploração de produtos madeireiros significativamente maior. Todavia, essa desvantagem é compensada pela alta taxa de incremento anual que florestas plantadas com espécies de rápido crescimento apresentam em São Paulo. Assim sendo, mesmo com área florestal menor, o Estado consegue produzir anualmente o mesmo volume de toras de madeira que a Áustria.

Entretanto, as principais espécies de árvores cultivadas em cada local são diferentes: na Áustria, a maior parte da área florestal é dedicada ao cultivo de espécies de árvores coníferas (predominantemente do gênero *Picea*); em São Paulo encontram-se principalmente espécies de folhosas sendo cultivadas (gênero *Eucalyptus*).

Tal situação é um indicativo da diferente orientação da indústria madeireira em cada país. Na Áustria, maior volume de toras de madeira é direcionado para processamento em serrarias ou no segmento de laminados; em São Paulo, a maior parte das toras são processadas na indústria do papel e celulose. Tal situação resulta em uma oferta de produtos madeireiros diferente em cada país o que afeta diretamente o custo dos mesmos.

Foi possível observar na estimativa de custo para a fabricação do elemento vertical MW5 em São Paulo que o preço da madeira serrada em relação ao da madeira compensada apresenta valor mais elevado que em Viena. Portanto, pode-se dizer que, no Estado de São Paulo, o contexto florestal e indústria madeireira não favorecem a utilização de madeira serrada de coníferas como na Áustria, resultando na inadequação parcial da solução MW5, do ponto de vista da utilização de seções robustas de madeira serrada de conífera.

No entanto, constatou-se que em São Paulo, diferentemente de Viena, a participação dos gastos com remuneração do trabalho não possuem grande influência sobre o custo de fabricação do elemento. Portanto, entende-se que a solução MW5 seria adequada em São Paulo, do ponto de vista do processo produtivo, devido à adoção de modelo “artesanal” de fabricação, com utilização intensiva de mão-de-obra e redução de investimentos em

maquinaria e tecnologia para automação da produção.

De um modo geral pode-se dizer que, enquanto na Áustria o fator limitante para a fabricação do elemento MW5 diz respeito à utilização intensiva de mão-de-obra, no Brasil, o custo elevado da matéria-prima utilizada é o principal problema.

4.0 DIRETRIZES E CONCLUSÃO

Resumo: o objetivo deste capítulo é estabelecer diretrizes para projeto de painel maciço em madeira utilizando o princípio da laminação cruzada, concluindo assim o trabalho. Pretende-se fornecer subsídios que possibilitem o desenvolvimento do tema e surgimento de novas soluções, adequadas à realidade paulista. Primeiramente, com as informações levantadas durante a dissertação foram estabelecidas diretrizes para o projeto de painel maciço em madeira utilizando o princípio da laminação cruzada. As diretrizes foram elaboradas do ponto de vista da utilização da madeira, do desenho do painel e de sua adaptação ao setor madeireiro paulista. A seguir, foi desenvolvido uma proposta preliminar para desenho de painel maciço, como forma de sintetizar as diretrizes estabelecidas anteriormente. Por último, as principais descobertas ao longo do trabalho foram resumidas e discutidas, visando responder à pergunta principal de pesquisa e sugerir encaminhamentos para desenvolvimento de novos estudos sobre o tema. Ao final obteve-se que a utilização de madeira proveniente de árvores de florestas plantadas no Estado, especialmente o *Eucalyptus*, devido à sua maior disponibilidade, é uma alternativa para a fabricação de

painel maciço em madeira em São Paulo. Todavia, a baixa capacidade de investimento em tecnologia limita o modelo de produção aos processos que demandem baixa mecanização e utilização intensiva de mão-de-obra.

Palavras-chave: pré-fabricação em madeira, painel maciço de madeira, diretrizes para projeto, projeto do produto, projeto do sistema produtivo.

Abstract: *the purpose of this chapter is to establish guidelines for cross laminated solid wood panel design, thereby concluding the work. It intends to provide information enabling further development on the theme and the appearance of new solutions, suitable to São Paulo's forestry industry. First, with the information gathered during the research, solid wood panel guidelines were established. The guidelines were developed from the point of view of timber utilisation, panel design and its adaptation to São Paulo's forestry industry. Then, a preliminary solid wood panel proposal has been developed as a way to synthesise the guidelines set previously. Finally, the main findings throughout the work were summarised and discussed aiming*

to answer the main research question, providing alternatives for further researches on the subject. At the end it was found that the use of timber from planted forests, especially Eucalyptus, due to their high productivity, is a feasible alternative for cross laminated solid wood panel production. In São Paulo, however, the low investment capacity requires production processes with low mechanisation and labor intensive procedures.

Keywords: *timber pre-fabrication, solid wood panel, project guidelines, product design, production process design.*

4.1 ESTABELECIMENTO DE DIRETRIZES PARA PROJETO DO PAINEL MACIÇO EM MADEIRA

Resumo: o objetivo deste tópico é estabelecer diretrizes para projeto de painel maciço em madeira utilizando o princípio da laminação cruzada. Primeiramente, com as informações levantadas nas partes anteriores do trabalho foram estabelecidas diretrizes para o projeto do painel maciço em madeira. As diretrizes abordaram os pontos de vista da matéria-prima utilizada, desenho do painel e adaptação ao setor madeireiro paulista. A seguir, foi desenvolvido uma proposta preliminar para desenho de painel maciço como forma de sintetizar graficamente as diretrizes estabelecidas anteriormente. Ao final obteve-se que os locais de produção dos painéis devem localizar-se, preferencialmente, próximos às áreas de reservas florestais, visando minimizar os gastos com transporte. Além disso, a camada transversal, fundamental para a estabilidade dimensional do painel e resistência à esforços laterais, deve possuir menor espessura possível, minimizando o gasto com material que não atua na direção de maior carregamento da estrutura. Não obstante, o painel deve fazer uso de madeira proveniente de florestas plantadas, em formatos menos processados e deve ser fabricado em sistema produtivo com

baixa demanda por maquinaria e utilização intensiva de mão-de-obra.

Palavras-chave: pré-fabricação em madeira, painel maciço de madeira, diretrizes para projeto, projeto do produto, projeto do sistema produtivo.

Abstract: *the purpose of this topic is to establish guidelines for cross laminated solid wood panel design. First, with the information gathered in earlier parts of the work, solid wood panel design guidelines were established. The guidelines addressed the issues of the utilised raw material, panel design and adaptation to São Paulo's forestry industry. Next, a preliminary panel design proposal were drawn as a way of synthesising the guidelines set previously. At the end it was found that the factory should be located, preferably near forest reserves' areas in order to minimise transportation expenses. Furthermore, the cross-layer, critical to the panel's dimensional stability, should be as thin as possible, hence minimising the use of material that does not act in the direction of higher loads. Nevertheless, the panel*

should use wood from planted forests in less-processed formats and should be manufactured in labour intensive production system.

Keywords: *timber pre-fabrication; solid wood panels, project guidelines; product design; production system design.*

4.1.1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

4.1.1.1 RETROSPECTIVA DO TRABALHO

No início da dissertação puderam ser analisadas diversas possibilidades para fabricação de painéis maciços em madeira que utilizam o princípio da laminação cruzada entre as camadas (item 2.0). Foram analisadas desde soluções altamente mecanizadas, como o CLT (item 2.1), até soluções que apresentam processo produtivo “artesanal”, como o MW5 (item 2.2).

A seguir, buscou-se compreender como a fabricação dos painéis maciços europeus estavam inseridas em um contexto madeireiro específico, o qual favorecia determinadas soluções em detrimento de outras (item 3.0). Foram então destacadas as principais diferenças entre a Áustria e o Estado de São Paulo do ponto de vista das reservas florestais e indústria madeireira (item 3.1). Com a análise das estimativas de custo para fabricação do elemento vertical MW5 (item 3.2), foi possível compreender como as diferenças no setor madeireiro em cada local influem, do ponto de vista econômico, no desempenho de uma solução específica (MW5). Com isso, puderam ser identificados o nível de adequação de certos materiais e procedimentos ao contexto paulista, tendo como referência o custo de fabricação do elemento.

Neste tópico, as principais informações e resultados obtidos ao longo da dissertação foram organizados na forma de diretrizes, indicando possibilidades e limitações para o projeto de painel maciço utilizando o princípio da laminação cruzada, que seja adequado ao setor madeireiro paulista. Assim sendo, a pesquisa termina não com o esgotamento da discussão sobre o tema, mas com a abertura de novos campos para pesquisa sobre a utilização de sistemas de painéis maciços em madeira no Estado.

4.1.2 OBJETIVO DE PESQUISA

4.1.2.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O tópico pretende estabelecer diretrizes para projeto de painel maciço em madeira, relacionando os principais pontos positivos e negativos dos produtos e suas implicações no sistema produtivo (item 2.0) com as possibilidades e limitações apresentadas pelo setor madeireiro paulista (item 3.0). Foi então esboçada uma possibilidade de desenho de painel como síntese das diretrizes estabelecidas.

4.1.3 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

4.1.3.1 MÉTODO

Primeiramente, foram estabelecidas diretrizes para projeto de painel maciço em madeira utilizando o princípio da laminação cruzada, adequados ao setor madeireiro no Estado de São Paulo.

As diretrizes abordam o projeto do painel dos pontos de vista da matéria-prima empregada, desenho do painel e adaptação ao setor madeireiro paulista. As informações utilizadas para o estabelecimento das diretrizes foram levantadas no decorrer da dissertação: a 'Revisão de estado da arte' (item 2.0) contribuiu para a delimitação dos principais pontos positivos e negativos no desenho do produto e suas implicações no sistema produtivo; a 'Análise comparativa Áustria - São Paulo' (item 3.0) contribuiu para a compreensão das principais possibilidades e limitações do setor madeireiro paulista e suas implicações no custo de fabricação de um elemento vertical.

Em seguida, foi elaborada uma proposta preliminar para desenho de painel maciço em madeira como forma de sintetizar as diretrizes estabelecidas anteriormente; por último, as diretrizes e a solução proposta foram analisadas do ponto de vista da sua adequação ao contexto florestal e indústria madeireira paulista.

4.1.4 DIRETRIZES

4.1.4.1 DO PONTO DE VISTA DA MATÉRIA-PRIMA

- Fábricas devem ser implantadas próximas à áreas de reservas florestais, visando diminuir o valor agregado pelos custos de transporte ao preço de comercialização das toras de madeira (itens 3.1.4.2 e 3.1.5.2).
- É necessário o controle do teor de umidade e classe de resistência da madeira que será utilizada no painel de acordo com o detalhamento do produto que varia em função desses valores (itens 2.1.5.2.3, 2.2.4.2.3, 2.2.6.2.2 e 2.2.7.5).

4.1.4.2 DO PONTO DE VISTA DO DESENHO DO PAINEL

- Deve ser utilizado o mínimo necessário de madeira no sentido transversal ao

carregamento principal do componente, visando o melhor aproveitamento do material empregado, ou seja, garantindo a estabilidade dimensional e resistência à esforços laterais, porém evitando o super-dimensionamento da camada transversal (item 2.1.4.1).

- Deve ser minimizado ou evitado o uso de adesivo poliuretano para a solidarização entre as diferentes camadas pois, além de ser um material proveniente de fonte não-renovável, sua utilização requer um sistema produtivo com maior mecanização e automação, devido à necessidade de uma etapa de prensagem (itens 2.1.5.2.3 e 2.2.4.2.3). Além disso, a utilização de prensa fria requer ainda uma etapa extra para secagem dos painéis (item 2.2.4.2.3).
- É recomendável que se execute a abertura de vãos para portas e janelas ainda durante o processo de fabricação do painel, visando diminuir a perda de material decorrente do recorte desses elementos em painéis acabados (itens 2.1.5.2.3, 2.2.4.2.3 e 2.1.5.2.3).
- É recomendável a fabricação de painéis com grandes dimensões visando reduzir os custos individuais de cada produto pelo aumento da produtividade - economia de escala (itens 2.1.7 e 2.2.7.2).
- Para um bom fechamento hermético do painel é importante evitar a retração das lamelas no sentido tangencial o que poderiam levar surgimento de frestas no painel (item 2.2.4.3), ou ainda, adotar medidas que garantam o fechamento hermético mesmo na ocorrência da retração das lamelas (itens 2.2.5.3 e 2.2.6.3).

4.1.4.3 DO PONTO DE VISTA DA ADAPTAÇÃO DO PAINEL ÀS POSSIBILIDADES E LIMITAÇÕES DO SETOR MADEIREIRO PAULISTA

- É recomendável utilizar madeira em formatos menos processados, visando reduzir o gasto com matéria-prima no custo de produção do painel e assim diminuir a participação percentual da matéria-prima no preço final do elemento (Item 3.2.6.2).
- É recomendável utilizar espécies de madeira proveniente de florestas plantadas, devido à possibilidade de oferta em larga escala de produtos florestais madeireiros (item 3.1.5.1).

- É recomendável a utilização de madeira de *Eucalyptus*, especialmente no formato de toras, como as cultivadas para a indústria do papel e celulose, devido à grande oferta dessa matéria-prima no cenário paulista (itens 3.1.5.1 e 3.1.5.2).
- É recomendável utilizar processos produtivos de cunho mais “artesanal”, com utilização intensiva de mão-de-obra, seguindo as características do segmento de processamento de madeira serrada e PMVA como grande gerador de empregos dentro do setor madeireiro (itens 3.1.5.3 e 3.2.6.3). Além disso, processos de fabricação artesanais reduzem a necessidade de grandes quantias de capital imobilizado em maquinaria (item 1.1.2).

4.1.5 PROJETO SÍNTESE

4.1.5.1. DESCRIÇÃO DO NÚCLEO MACIÇO

O painel é composto por toras de *Eucalyptus* serradas ao meio e chanfradas nas laterais (espessura em torno de 50 milímetros), toras de *Eucalyptus* serradas em um quarto de seção (espessura de 100 milímetros), chapas de compensado laminado naval de *Pinus* (2400 x 1600 x 20 milímetros) e tábuas de madeira serrada de *Pinus* (seção de 220 x 20 milímetros) tratada em autoclave (CCA ou CCB). A figura 4.1 apresenta a seção do núcleo maciço em madeira do elemento.

O núcleo maciço possui 1640 milímetros de largura por 220 milímetros de espessura. Na parte central encontra-se a chapa de compensado laminado, percorrendo toda a dimensão longitudinal do painel. Sobre ela são fixadas com pregos anelados toras de *Eucalyptus* com cerca de 50 milímetros de espessura. Nas extremidades da chapa de compensado são fixadas toras de *Eucalyptus* cortadas em um quarto de seção com espessura de 100 milímetros. Nas laterais do componente, tábuas de madeira serrada de *Pinus* tratada em autoclave, com 220 x 20 milímetros são fixadas perpendicularmente à chapa de compensado laminado, visando criar uma superfície regular para a junção de dois painéis além de aumentar

Figura 4.1. Seção do núcleo maciço de madeira do elemento.

a resistência ao empenamento. Adicionalmente, utilizando as toras de *Eucalyptus* cortadas em um quarto de seção, são colocadas vigas transversais, no centro e nas extremidades do painel para fixação da estrutura dos pisos intermediários e cobertura, além de aumentar a rigidez lateral do painel.

Com essa solução, objetivou-se minimizar a utilização de madeira serrada, restrita apenas à tábua de *Pinus* de seção pouco robusta (20 x 220 milímetros), portanto, com maior oferta no mercado. Outro motivo que justifica a utilização de tábuas de *Pinus* ao redor do painel foi sua facilidade de tratamento, a fim de criar um perímetro de proteção para as peças de *Eucalyptus* (sem tratamento). Além disso, se buscou utilizar predominantemente madeira menos processada, representada pelas toras de *Eucalyptus* serradas ao meio ou um quarto de seção. Empregaram-se seções de toras com pouco diâmetro visando viabilizar a utilização de árvores jovens de *Eucalyptus* (figura 4.2). Sulcos para alívio das tensões (decorrentes da variação diferencial entre sentido tangencial e radial) são realizados na parte do albúrne das toras, visando evitar o surgimento de trincas ou fissuras.

Por fim, justifica-se a utilização da madeira compensada laminada pela boa oferta desse material no mercado (item 3.1.5.2). Apesar de tratar-se de um produto cuja comercialização se dá, sobretudo, para o mercado externo, o aumento da demanda interna pelo produto poderia fornecer mais estabilidade a esse segmento favorecendo seu desenvolvimento, que no momento é facilmente afetado por flutuações no mercado internacional (ABRAF, 2010).

Figura 4.2. Diagrama de corte das toras de *Eucalyptus* utilizadas no núcleo maciço.

4.1.5.2 DESCRIÇÃO DO ISOLAMENTO TÉRMICO E REVESTIMENTO PARA FABRICAÇÃO DO ELEMENTO

Para a fixação do isolamento térmico e revestimento no painel, são utilizadas as costaneiras retiradas dos troncos de *Eucalyptus* (figura 4.2). Estas são fixadas perpendicularmente em relação à direção das toras com a parte serrada voltada para fora. O elemento pode ser então preenchido com uma das seguintes opções para isolamento: a) em locais onde o solo apresente boa quantidade de argila, o núcleo maciço pode ser recoberto com a técnica da taipa de mão, misturando terra e palha; b) em locais onde o solo não for favorável à utilização da técnica da taipa, pode-se fabricar um compósito madeira-cimento (WCC) para o isolamento do elemento, utilizando raspas de madeira, cimento e água,. A figura 4.3 mostra a seção final do elemento preenchido com WCC.

O revestimento final, em ambos os casos, é executado após a instalação do elemento vertical no canteiro. Para a opção “a”, o elemento pode ser revestido com uma camada mais fluída de taipa e então pintado ou caiado; para a opção “b”, pode ser aplicado revestimento com argamassa comum, seguido pela pintura da superfície com tinta acrílica.

Com essas soluções objetivou-se eliminar o uso de lã de rocha ou lã de vidro para isolamento, assim como o emprego de chapas de gesso para o revestimento. Isso porque esses materiais apresentaram grande participação percentual no preço final do elemento (item 3.2.6.2). Desse modo, buscou-se a utilização de materiais presentes no local, ou amplamente disponíveis no Estado como estratégia para diminuir a participação percentual dos materiais no preço de produção do elemento. A figura 4.4 apresenta uma perspectiva isométrica elemento vertical proposto, mostrando todos os componente constituintes.

4.1.5.3. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO ELEMENTO VERTICAL

1. Preparação: as toras de *Eucalyptus* são dispostas lado a lado sobre os

Figura 4.3. Seção do elemento vertical finalizado.

cavaletes (figura 4.5); a seguir, as chapas de compensado são colocada em cima das toras (figura 4.6).

2. Fixação das peças inferiores: as toras laterais são colocadas em posição com um “sargento”, na face inferior da chapa de compensado. A seguir todas as toras são fixadas com pregos anelados, a partir da face superior da chapa de compensado (figura 4.7).

3. Fixação das peças laterais superiores: as toras laterais são colocadas em posição com um “sargento” na face superior da chapa de compensado e fixadas com pregos anelados, pregados diagonalmente em direção à chapa de compensado (figura 4.8).

4. Fixação das tábuas: as tábuas de *Pinus* tratado em autoclave são fixadas nas toras laterais, perpendicularmente às chapas de compensado, com pregos anelados (figura 4.9).

5. Disposição e fixação das toras superiores: as toras são dispostas sobre as chapas de compensado e fixadas por meio de pregos anelados, pregados diagonalmente em direção à chapas (figura 4.10).

6. Isolamento térmico (opção A) - fixação dos batentes e preenchimento com WCC: as costaneiras retiradas das toras de *Eucalyptus* (figura 4.2) são fixadas

Figura 4.4. Perspectiva isométrica mostrando os componentes do elemento vertical proposto.

Figura 4.5. Disposição das toras de Eucalyptus sobre a mesa de trabalho (esquerda).

Figura 4.6. Disposição da chapa de compensado sobre as toras de Eucalyptus.

Figura 4.7. Fixação das toras inferiores(esquerda).

Figura 4.8. Fixação das toras laterais superiores (direita).

Figura 4.9. Fixação das tábuas de madeira serrada(esquerda).

Figura 4.10. Fixação das toras superiores (direita).

Figura 4.11. Preenchimento do elemento com WCC.

com pregos anelados, transversalmente à direção das toras do painel. Com o painel ainda na horizontal é despejado o WCC (figura 4.11 esquerda). Após a secagem do primeiro lado, o painel é virado e repete-se o procedimento para o outro lado (figura 4.11 direita).

6. Isolamento térmico (opção B) - fixação dos batentes e preenchimento com taipa de mão: as costaneiras retiradas das toras de *Eucalyptus* (figura 4.2) são fixadas com pregos anelados, transversalmente à direção das toras do painel. Após instalado no canteiro, o painel é preenchido com taipa de mão em ambos os lados.

4.1.5.4 EDIFICAÇÃO

Os elementos verticais finalizados, fabricados na altura total da construção visando agilizar a montagem do edifício e reduzir os custos individuais de produto, seriam então fixados sobre embasamento de alvenaria estrutural com blocos de concreto (objetivando afastar a madeira do solo) e dispostos lado a lado, constituindo assim as fachadas da edificação. Primeiramente, seriam fixados os elementos localizados nos cantos da construção de modo a obter cantos rígidos, que serviriam como escoramento dos demais elementos no decorrer da montagem do edifício. Os vãos relativos à portas e janelas seriam executados em espaço livre entre dois elementos verticais,

Figura 4.12. Possibilidade para planta de edificação utilizando o elemento vertical do projeto síntese.

visando assim evitar o recorte posterior do elemento e conseqüentemente, o desperdício de material. Em seguida, seriam instalados os pavimentos intermediários, cobertura e demais componentes da edificação (figura 4.12). Por fim, seriam executadas as instalações elétricas e hidráulicas e os elementos receberiam o revestimento (de acordo com a opção de projeto - item 4.1.5.3, etapa 6), seguindo o modelo do sistema de escritórios.

O estudo preliminar para uma edificação multi-funcional, utilizando os elementos verticais do projeto síntese pode ser observado em maior detalhe no Anexo 1.

4.1.6 CONCLUSÃO

4.1.6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Relacionando-se as diretrizes estabelecidas (item 4.1.4) com a proposta síntese para fabricação de painel maciço em São Paulo (item 4.1.5), pode-se chegar às seguintes considerações:

A implantação da fábrica nas proximidades de reservas florestais é fundamental para diminuir a participação do frete no custo da matéria-prima, especialmente por terem sido empregadas toras de madeira com menor valor agregado e, portanto, para as quais o acréscimo com os custos de transporte seria mais significativo.

Em relação à matéria-prima, por se utilizar toras *Eucalyptus* sem tratamento, o controle do teor de umidade da madeira é importante visando garantir a durabilidade do painel, tanto no âmbito da variação dimensional, evitando a deformação das peças, surgimento de trincas etc., quanto do ponto de vista do ataque de agentes biológicos.

Em relação ao desenho do painel, as chapas de madeira compensada que percorrem longitudinalmente o centro do painel fornecem estabilidade dimensional e resistência contra esforços laterais, dispensando assim a utilização de camadas transversais contendo peças robustas de madeira, aumentando a quantidade de material orientado no sentido de maior solicitação estrutural. Além disso, a chapa de madeira compensada é ainda responsável pelo fechamento hermético do painel.

A solidarização entre as toras e as chapas de madeira compensada é realizada

por meio de pregos anelados. Assim sendo, não se utiliza adesivo poliuretano e, portanto, não há necessidade de prensa, o que reduz a demanda por investimento em maquinaria e dispensa uma etapa de secagem, no caso da utilização de prensa fria.

Em relação à adaptação da solução ao setor madeireiro paulista, a utilização predominante de toras de madeira serradas ao meio ou em um quarto de seção satisfazem à necessidade de emprego de material menos processado, visando diminuir a utilização de madeira serrada no painel e assim reduzir a participação percentual dos materiais no custo final do elemento. Além disso, utiliza-se de madeira proveniente de florestas plantadas, especialmente espécies de *Eucalyptus*, devido à sua maior oferta no mercado paulista. Não obstante, o emprego de toras apresentando seções menos robustas, com diâmetro variando de 150 a 250 mm, refletem a preferência pela utilização de árvores jovens, como as que são cultivadas para abastecimento do segmento industrial do papel e celulose.

Por fim, utiliza-se um processo de fabricação predominantemente manual, ou seja, sem necessidade de utilização de máquinas sofisticadas. Desse modo, restringi-se a demanda por capital imobilizado em maquinaria e amplia-se a demanda por mão-de-obra, seguindo as características encontradas no segmento de produtos madeireiros.

4.2 CONCLUSÃO DO TRABALHO

Seguindo a hipótese inicial do trabalho de que a fabricação de painéis maciços em madeira, utilizando o princípio da laminação cruzada seria uma alternativa viável para a construção habitacional em São Paulo buscou-se delimitar e avaliar as possibilidades e limitações para o projeto de painel maciço adequado à realidade do Estado de São Paulo, do ponto de vista das reservas florestais e nível de desenvolvimento da indústria madeireira.

Na primeira parte (item 2.0) foi desenvolvida uma revisão de estado da arte sobre a produção de diferentes tipos de painéis maciços em madeira que utilizam o princípio da laminação cruzada.

Primeiramente, o CLT austríaco foi estudado (item 2.1). Foram analisadas suas principais características, pontos positivos e negativos do produto, assim como suas respectivas implicações no processo produtivo. Descobriu-se que os painéis são fabricados exclusivamente com madeira serrada de espécies coníferas, devido à oferta abundante dessas espécies nos locais onde localizam-se as fábricas e em grandes dimensões, visando reduzir os custos individuais do produto pelo aumento da produtividade. Todavia, foram identificados alguns pontos negativos no processo, tais como a demanda de grandes quantias de investimento em infra-estrutura de produção, em parte decorrente da utilização de adesivo poliuretano e quantidade significativa de perda de material durante a usinagem do painel.

Em seguida (item 2.2), foram analisadas alternativas para a produção de painéis maciços em madeira, mantendo o princípio da laminação cruzada, porém, apresentando soluções diferentes para alguns dos problemas encontrados na análise do CLT e seu processo produtivo. Foram desenvolvidos 4 estudos de caso sobre diferentes produtos. Como no CLT, em todos os casos observou-se a fabricação dos painéis com madeira serrada de espécies coníferas, devido à sua oferta abundante e em grandes dimensões, visando reduzir os custos individuais de cada produto pelo aumento da produtividade. Além disso, percebeu-se que a forma de solidarização entre as diferentes camadas do painel possui ampla influência no processo produtivo. Soluções empregando conexões mecânicas como forma de solidarização requerem menor mecanização da linha produtiva do que soluções que utilizam exclusivamente adesivos químicos.

Assim, com a análise do CLT e produtos semelhantes foram delimitados os principais pontos positivos e negativos relacionados ao projeto e fabricação de painéis maciços em madeira utilizando o princípio da laminação cruzada. Concluiu-se que a forma de solidarização entre as diferentes camadas é determinante para o planejamento do sistema produtivo do painel; de modo geral, soluções que utilizam adesivos químicos demandam maior mecanização na linha produtiva do que soluções que realizam a solidarização das camadas mecânicamente.

Na segunda parte da dissertação (item 3.0) foi desenvolvida uma análise comparativa entre a Áustria e o Estado de São Paulo. A análise foi dividida em duas etapas.

Na primeira etapa (item 3.1) foi analisado o setor madeireiro em cada local do ponto de vista das reservas florestais (área de cobertura florestal, taxa de incremento anual, distribuição das espécies) e indústria madeireira (produção total de toras de madeira, distribuição das toras entre os diferentes segmentos industriais, valor adicionado bruto e número de empregos gerados). Desse modo, foi possível relacionar a produção de painéis maciços austríacos a um contexto florestal/madeireiro específico, além de expor as principais diferenças do setor madeireiro austríaco em relação ao setor madeireiro paulista. Descobriu-se que, apesar do Estado de São Paulo apresentar área florestal para exploração comercial consideravelmente menor que a Áustria, devido à alta taxa de incremento anual das florestas plantadas no Brasil, produz-se anualmente quase o mesmo volume de toras de madeira em ambos locais. Todavia, ao contrário da Áustria, a produção de insumos madeireiros no Estado de São Paulo é predominantemente voltada ao abastecimento do segmento industrial do papel e celulose. Por esse motivo, enquanto na Áustria existe uma boa oferta de madeira serrada de coníferas para beneficiamento em produtos derivados, em São Paulo, a oferta de produtos madeireiros é abundante para espécies de *Eucalyptus*, principalmente no formato de toras ou polpa de madeira, para processamento no segmento industrial do papel e celulose.

Na segunda etapa (item 3.2), foram desenvolvidas estimativas de custo para fabricação de um determinado elemento vertical empregando núcleo maciço em madeira na cidade de Viena e na RMSP. O MW5 (analisado no item 2.2.7) foi selecionado para estimativa pois, apresentou maior potencial de adaptação ao contexto nacional, devido ao bom aproveitamento do material e sistema

produtivo com baixa demanda por mecanização e nenhuma automação. Para cada local, valores obtidos na estimativa de custos foram analisados do ponto de vista da participação percentual de cada etapa produtiva no custo total de fabricação e participação percentual de cada material nos gastos com matéria-prima. Em seguida, os resultados individuais foram comparados entre si. Assim, foi possível compreender a influência que o nível de desenvolvimento do setor madeireiro em cada país tem no custo final do elemento. Obteve-se que, diferentemente de Viena, os gastos com remuneração do trabalho em São Paulo tem pouquíssima participação no custo de fabricação do elemento; por outro lado, gastos com madeira serrada, materiais de isolamento e revestimento apresentam maior participação percentual no custo do elemento.

Relacionando-se a análise comparativa entre o setor madeireiro austríaco e paulista com as estimativas de custo para fabricação do elemento MW5 em Vienna e na RMS, concluiu-se que, apesar de o Estado de São Paulo apresentar área florestal consideravelmente menor que a Áustria, produz-se anualmente praticamente o mesmo volume de toras de madeira em ambos locais, devido à alta taxa de incremento anual das florestas plantadas no Brasil. Todavia, ao contrário da Áustria, os insumos madeireiros produzidos no Estado de São Paulo são predominantemente voltados para o abastecimento do segmento industrial do papel e celulose. Isso cria uma oferta limitada de produtos provenientes do segmento de serraria, resultando no aumento de seus preços. Por esse motivo, verificou-se na estimativa de custos que gastos com matéria-prima possuem maior participação no custo para produção do elemento no Estado de São Paulo do que em Viena.

Por fim, com os resultados obtidos ao longo da dissertação foi possível estabelecer diretrizes para projeto de painel maciço, utilizando o princípio da laminação cruzada, visando uma melhor adaptação dessa solução ao setor madeireiro paulista. Definiu-se que os locais de produção dos painéis devem localizar-se, preferencialmente, próximos às áreas de reservas florestais, visando minimizar os gastos com transporte. Além disso, a camada transversal, fundamental para a estabilidade dimensional e resistência contra esforço laterais, deve possuir menor espessura possível, minimizando o gasto com material que não atua na direção de maior carregamento da estrutura. Não obstante, o painel deve fazer uso de madeira proveniente de florestas plantadas em formatos menos processados e deve ser fabricado em sistema produtivo com pouca mecanização e utilização intensiva de mão-de-obra. A

proposta síntese para fabricação de elemento vertical empregando painel maciço indica uma possibilidade para projeto de painel levando em consideração as diretrizes anteriormente estabelecidas: uma camada central de chapa de madeira laminada (espessura de 20 milímetros) confere estabilidade dimensional e rigidez lateral ao componente; emprega-se sobretudo madeira de *Eucalyptus* no formato de toras serradas ao meio ou em um quarto de seção e, por fim, a fabricação ocorre em uma linha produtiva com uso intensivo de mão-de-obra.

Assim, respondendo à pergunta principal de pesquisa e concluindo o trabalho, pode-se dizer que as possibilidades e limitações para o projeto de painel maciço de madeira, utilizando o princípio da laminação cruzada, adequado ao setor madeireiro paulista são:

Possibilidades:

- Utilização da madeira proveniente de árvores de florestas plantadas, devido à alta taxa de incremento anual dessas espécies no Brasil.
- Utilização de madeira de espécies de *Eucalyptus*, devido à maior área plantada e disponibilidade no Estado São Paulo.
- Utilização da madeira de *Eucalyptus* em formatos menos processados, devido à maior disponibilidade desses produtos que visam o abastecimento do segmento industrial do papel e celulose.
- Utilização de sistemas produtivos com demanda intensiva de mão-de-obra, devido à baixa influência da mão-de-obra nos custos de fabricação e objetivando a criação de mais empregos e aquecimento das economias locais.

Limitações:

- Localização das fábricas perto das reservas, devido à utilização de matéria-prima com baixo valor agregado o que resulta em maior influência dos custos com transporte no valor de comercialização da matéria-prima.
- Minimizar ou evitar uso de madeira serrada, pois sua menor oferta no mercado paulista resulta em um valor elevado para esses produtos.
- Evitar a utilização de madeira serrada de espécies de *Pinus*, pois sua menor

oferta (utilizado, sobretudo, no segmento industrial dos laminados) no cenário paulista resulta em um valor elevado para os produtos.

- Evitar a utilização de sistemas produtivos com alta demanda por mecanização e automação da produção, devido à necessidade de investimento em maquinaria de produção o que não coincide com as características do segmento de produtos madeireiros.

Terminado o trabalho, sugere-se como tópicos para desenvolvimento subsequente do tema: desenvolvimento de outras propostas de desenho seguindo as diretrizes estabelecidas, análise da proposta síntese ou de outras propostas do ponto de vista do desempenho (térmico, acústico, estrutural), análise de custo de fabricação e projeto do sistema de produção da proposta síntese ou de outras propostas.

ANEXO 1

ESTUDO PRELIMINAR PARA UMA EDIFICAÇÃO MULTI- FUNCIONAL UTILIZANDO OS ELEMENTOS VERTICAIS DO PROJETO SÍNTESE

SEÇÃO DO ELEMENTO VERTICAL ESC:1:50

ELEVAÇÃO FRONTAL DO ELEMENTO VERTICAL ESC:1:50

ELEVAÇÃO LATERAL DO ELEMENTO VERTICAL ESC:1:50

PERSPECTIVA ISOMÉTRICA EXPLODIDA DO ELEMENTO VERTICAL

PERSPECTIVA ISOMÉTRICA DO ELEMENTO VERTICAL

DETALHE DA INTERFACE COBERTURA-PAREDE ESC:1:10

DETALHE DA INTERFACE PISO-PAREDE ESC:1:10

DETALHE DO CAIXILHO ESC:1:10

CORTE 01 ESC:1:40

ÍNDICE REMISSIVO

LISTA DE FIGURAS

ITEM 1.0

Figura 1.1. Equações químicas: 1) processo de fotossíntese; 2) processo de queima da madeira. Fonte: FPL, 2010. 5

Figura 1.2. Peso e gasto de energia para produção pilares com 3 m de altura, resistindo à mesma carga. Fonte: Kolb, 2008. 6

Figura 1.3. Gráfico de evolução da produção do CLT na Europa Central (1000 m³). Fonte: Schickhofer, 2010. 7

Figura 1.4. Edifício Stadthaus em Londres: vista interna durante a construção, mostrando os elementos e conectores metálicos (esq.); Vista externa do edifício acabado (dir.). Fonte: <waughthistleton.com>. Acesso em outubro de 2012. 8

Figura 1.5. Organograma mostrando a abordagem geral do Design for Production (DFP). Fonte: adaptado de Herrmann, 2003. 10

ITEM 2.0

Figura 2.1. Diagrama de disposição das camadas em painel de CLT. 25

Figura 2.2. Localização das fábricas de CLT na Áustria sobre mapa de cobertura florestal. Legenda: 1) Stora Enso, 2) BBS, 3) KLH, 4) MMH. Fonte: Schuck, et al, 2002; Google maps, 2011. 26

Figura 2.3. Juntas entre painéis: sobreposição (esquerda), macho-fêmea (direita) e lingueta solta (baixo). 29

Figura 2.4. Diagrama mostrando em vista superior as esteiras de abastecimento e a mesa de prensagem. 31

Figura 2.5. Esquemas de carregamento do caminhão: horizontal (esquerda); vertical (direita). Fonte: <<http://www.mm-holz.com>>. Acesso: setembro de 2011. 32

Figura 2.6. Diagrama de deformação das camadas externas: lamelas sem colagem lateral (esquerda); lamelas com colagem lateral (direita).	33
Figura 2.7a,b. Produtos Novatop: a) Novatop Solid (esquerda), b) Novatop Elements (direita). Fonte: <www.novatop-system.cz>. Acesso em outubro de 2011.	45
Figura 2.8. Localização da Fábrica Novatop sobre mapa de cobertura florestal. Fonte: adaptado de Schuck, et al, 2002; Google, 2011.	46
Figura 2.9. Seções dos painéis NS. Fonte: www.novatop-system.cz. Acesso em outubro de 2011.	47
Figura 2.10a, b. Etapa 1: a) lamelas cortadas por serra automatizada (esquerda); b) separação das lamelas de acordo com a ocorrências de falhas e nós (direita).	48
Figura 2.11a, b. Etapa 2: a) pilhas de lamelas são colocadas na esteira (esquerda); b) adesivo poliuretano é borrifafo na lateral das peças (direita).	48
Figura 2.12a, b. Etapa 3: a) adesivo poliuretano borrifado na camada de lamelas justapostas (esquerda); b) a camada de lamelas é transportada para mesa de prensagem (direita).	49
Figura 2.13a, b. Etapa 4: a) prensagem das camadas de lamelas (esquerda); b) funcionários pregando as bordas do painel pra evitar movimentações das lamelas (direita).	49
Figura 2.14. Etapa 5: bandejas para secagem dos painéis.	50
Figura 2.15a, b. Etapa 6: a) funcionários corrigindo imperfeições de uma das faces visíveis (esquerda); b) painel é girado 180 graus para que tenha início o trabalho na outra face visível (direita).	50
Figura 2.16. Etapa 7: painéis lixados e cortados nas dimensões padrão.	51
Figura 2.17a, b. Etapa 8: a) painéis são cortados por serra CNC (esquerda); b) dois funcionários fixam as diferentes camadas umas às outras com cavilhas e adesivo poliuretano (direita).	51

Figura 2.18. Etapa 9: prensagem das camadas para obtenção do elemento construtivo (esquerda).	52
Figura 2.19. Galpão de montagem do elemento Novatop Solid com umidificadores no teto (direita).	52
Figura 2.20. Localização da Hundegger Maschinenbau GmbH sobre mapa de cobertura florestal. Fonte: adaptado de Schuck, et al, 2002; Google maps, 2011.	56
Figura 2.21. Seção e vista superior do painel MHM com 5 camadas. Fonte: adaptado de Massiv Holz Mauer Entwicklungs GmbH, 2011.	57
Figura 2.22a, b. Etapa 1: a) funcionário abastecendo a perfiladora de madeira (esquerda); b) perfil final das lamelas (direita). Fonte: Hundegger Maschinenbau GmbH, 2011.	58
Figura 2.23a, b. Etapa 2: a) Trilho para abastecimento e fixação das lamelas (esquerda); b) lamela sendo fixada com pregos de alumínio e regularizada na face lateral (direita). Fonte: Hundegger Maschinenbau GmbH, 2011.	58
Figura 2.24a, b. Etapa 3: a) painel sendo cortado na serra CNC (esquerda); b) execução de canaleta para instalações elétricas (direita). Fonte: Hundegger Maschinenbau GmbH, 2011.	58
Figura 2.25. Diagrama de deformação no MHM devido à retração tangencial das lamelas.	61
Figura 2.26. Localização da Thoma Holz GmbH sobre mapa de cobertura florestal. Fonte: adaptado de Schuck, et al, 2002; Google maps, 2011.	62
Figura 2.27. Composição das camadas nos painéis H100 empregados como elementos verticais: painel com 10 camadas (esquerda); painel com 4 camadas (direita). Fonte: adaptado de Thoma Holz GmbH, 2011.	63
Figura 2.28. Seção da lamela com ranhuras para melhorar o desempenho térmico do painel. Fonte: adaptado de Thoma Holz GmbH, 2011.	64
Figura 2.29. Vista superior com localização das cavilhas (topo) e seção do painel mais robusto (baixo). Fonte: adaptado de Thoma Holz GmbH, 2011.	65

Figura 2.30. Diagrama de deformação no H100 devido à retração tangencial das lamelas.	66
Figura 2.31. Seção do núcleo maciço de madeira do elemento MW5. Fonte: adaptado de Winter et al, 2001.	71
Figura 2.32. Perspectiva isométrica do protótipo. Fonte: Winter et al, 2001.	72
Figura 2.33. Etapa 1: chapa de compensado e tábuas dispostas sobre cavaletes (esquerda). Fonte: Winter et al, 2001.	73
Figura 2.34. Etapa 2: peças laterais fixadas na chapa de compensado sarrafeado. (direita). Fonte: Winter et al, 2001.	73
Figura 2.35. Etapa 3: pilaretes fixados à chapa de compensado sarrafeado. (esquerda). Fonte: Winter et al, 2001.	74
Figura 2.36. Etapa 4: fixação das tábuas à chapa de compensado sarrafeado. (direita). Fonte: Winter et al, 2001.	74
Figura 2.37. Etapa 5: fixação das tábuas laterais. (esquerda). Fonte: Winter et al, 2001.	74
Figura 2.38. Etapa 6: detalhe da viga para encaixe da estrutura do pavimento. (direita). Fonte: Winter et al, 2001.	74
Figura 2.39. Etapa 7: içamento do componente e instalação no local final. (esquerda). Fonte: Winter et al, 2001.	75
Figura 2.40. Etapa 8: montagem do piso; estrutura finalizada. (direita). Fonte: Winter et al, 2001.	75
Figura 2.41. Etapa 9: Protótipo terminado após instalados o isolamento e revestimento de chapas de gesso acartonado (direita). Fonte: Winter et al, 2001.	75
Figura 2.42. Diagrama de deformação devido à retração tangencial das tábuas. Fonte: Winter et al, 2001.	76

ITEM 3.0

Figura 3.1. Divisão administrativa da áustria sobre mapa de cobertura florestal. Fonte: adaptado de Schuck, et al/Google maps.	92
Figura 3.2 a,b. Mapas de cobertura florestal na Áustria: a) coníferas (esquerda); b) folhosas (direita). Fonte: adaptado de Schuck, et al/Google maps.	93
Figura 3.3. Produção doméstica e importação de toras de madeira na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.	95
Figura 3.4. Utilização das toras na indústria de acordo com o ramo produtivo em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.	95
Figura 3.5. Produção doméstica e importação de madeira serrada na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.	97
Figura 3.6. Consumo doméstico e exportação de madeira serrada na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.	97
Figura 3.7. Produção de chapas derivadas da madeira na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.	98
Figura 3.8. Consumo doméstico e exportação de chapas derivadas de madeira na Áustria em 2009. Fonte: FAOSTAT, 2011.	98
Figura 3.9. Mapa de cobertura florestal nativa no Estado de São Paulo por bacias hidrográficas. Fonte: Instituto Florestal, Secretaria do Meio Ambiente, 2009.	101
Figura 3.10. Distribuição de PFM e PFNM por espécies na mata nativa paulista. Fonte: adaptado de Carvalhaes et al., 2008.	102
Figura 3.11. Mapa de distribuição esquemática dos principais maciços de florestas plantadas em São Paulo. Fonte: ABRAF, 2011.	104
Figura 3.12. Distribuição das áreas de plantios florestais de Eucalyptus e Pinus das associadas individuais da ABRAF por modalidade no Estado de São Paulo em 2010. Fonte: ABRAF, 2011	105

Figura 3.13. Localização dos principais centros industriais de Eucalyptus sobre mapa de localização dos principais maciços de florestas plantadas. Fonte: adaptado de ABRAF, 2011	107
Figura 3.14. Consumo de madeira em tora para uso industrial por segmento de atividade, 2010 (em milhões de m3). Fonte: ABRAF, 2011.	108
Figura 3.15. Distribuição entre consumo interno e exportação de produtos madeireiros por segmento de atividade. Fonte: ABRAF, 2011.	109
Figura 3.16. Exportações brasileiras de produtos de florestas plantadas em 2010. Fonte: ABRAF, 2011.	111
Figura 3.17. Estimativa da distribuição de empregos diretos, indiretos do setor de florestas plantadas por segmento de atividade em 2010. Fonte: ABRAF, 2011.	112
Figura 3.18. Seção do elemento MW5. Fonte: adaptado de Winter et al, 2001.	122
Figura 3.19. Perspectiva isométrica mostrando os componentes do elemento MW5. Fonte: adaptado de Winter et al, 2001.	123
Figura 3.20. Participação do núcleo maciço de madeira, remuneração de mão-de-obra e isolamento/revestimento nos custos de produção do MW5 em Viena.	125
Figura 3.21. Distribuição dos gastos com materiais por metro quadrado para fabricação do elemento MW5 em Viena.	126
Figura 3.22. Participação do núcleo maciço de madeira, remuneração de mão-de-obra e isolamento e revestimento nos custos de fabricação do MW5 em São Paulo.	129
Figura 3.23. Distribuição dos gastos com materiais por metro quadrado para fabricação do elemento MW5 em São Paulo.	130

ITEM 4.0

Figura 4.1. Seção do núcleo maciço de madeira do elemento.	144
--	-----

Figura 4.2. Diagrama de corte das toras de Eucalyptus utilizadas no núcleo maciço.	145
Figura 4.3. Seção do elemento vertical finalizado.	146
Figura 4.4. Perspectiva isométrica mostrando os componentes do elemento vertical proposto.	147
Figura 4.5. Disposição das toras de Eucalyptus sobre a mesa de trabalho (esquerda).	148
Figura 4.6. Disposição da chapa de compensado sobre as toras de Eucalyptus.	148
Figura 4.7. Fixação das toras inferiores(esquerda).	148
Figura 4.8. Fixação das toras laterais superiores (direita).	148
Figura 4.9. Fixação das tábuas de madeira serrada(esquerda).	148
Figura 4.10. Fixação das toras superiores (direita).	148
Figura 4.11. Preenchimento do elemento com WCC.	148
Figura 4.12. Possibilidade para planta de edificação utilizando o elemento vertical do projeto síntese.	149

LISTA DE TABELAS

ITEM 2.0

Tabela 2.1. Principais características do CLT por fabricante.	28
Tabela 2.2. Análise “SWOT” do processo produtivo do CLT.	36
Tabela 2.3. Arranjos das camadas de lamelas e função dos componentes NS.	47
Tabela 2.4. Análise “SWOT” do processo produtivo do NS.	54
Tabela 2.5. Características básicas do painel MHM.	57

Tabela 2.6. Análise SWOT do processo produtivo do MHM.	60
Tabela 2.7. Características básicas do painel H100.	64
Tabela 2.8. Análise SWOT do processo produtivo do H100.	67
Tabela 2.9. Características básicas do núcleo maciço do elemento MW5.	72
Tabela 2.10. Análise SWOT do processo produtivo do MW5.	77
Tabela 2.11. Principais características das soluções analisadas no tópico 2.2.79	
ITEM 3.0	
Tabela 3.1. Estrutura de propriedade florestal austríaca em 2001.	91
Tabela 3.2. Incremento e extração de madeira anual na Áustria por tipo de propriedade - 2000/2002.	92
Tabela 3.3. Área total, área florestal e taxa de cobertura florestal em cada província da Áustria.	93
Tabela 3.4. Espécies de árvores encontradas nas florestas austríacas e taxa de incidência.	94
Tabela 3.5. Preços para os insumos madeireiros, 2008	96
Tabela 3.6. Área de florestas nativas e florestas plantadas (<i>Eucalyptus e Pinus</i>) no Estado de São Paulo.	103
Tabela 3.7. Produção de toras de madeira, lenha e carvão vegetal no Estado de São Paulo em 2009.	106
Tabela 3.8. Preços para os isumos madeireiros em outubro de 2009.	106
Tabela 3.9. Valor Adicionado Bruto pelo setor florestal por segmento produtivo em 2010.	110
Tabela 3.10. Valor da produção de toras de madeira, lenha e carvão vegetal no Estado de São Paulo em 2009.	110

Tabela 3.11. Principais informações sobre o setor florestal na Áustria e em São Paulo. 114

Tabela 3.12. Estimativa de custo por metro quadrado para produção do elemento MW5 em Viena. 124

Tabela 3.13. Custo de sistemas construtivos para elementos estruturais verticais em Viena. 126

Tabela 3.14. Estimativa de custo por metro quadrado para produção do elemento MW5 em SP. 128

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ITEM 1.0

CLT: Cross Laminated Timber (madeira laminada cruzada)

CNC: Computer Numeric Control (controle numérico computadorizado)

ITEM 2.0

BBS: Binder Holz (empresa austríaca produtora de CLT)

H100: Holz 100 (painel de madeira laminada cruzada produzido pela empresa austríaca Thoma Holz)

KLH: Kreuze Lange Holz (empresa austríaca produtora de CLT)

MMH: Mayr Melhof holz (empresa austríaca produtora de CLT)

MMH BSP: Mayr Melhof Holz (painel de CLT produzido pela empresa austríaca MMH)

MHM: Massiv Holz Mauer (painel de madeira laminada cruzada produzido pela empresa alemã Hundegear Maschinenbau GmbH)

NS: Novatop Solid (painel de madeira laminada cruzada produzido pela empresa Tcheca Agrop Novatop)

SWOT (análise): abreviação de Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats, consiste em um método de análise utilizado para compreensão das forças (Strengths), fraquezas (Weaknesses) do que se estuda. Adicionalmente, identificam-se também as oportunidades (Opportunities) que se abrem e as ameaças (Threats) que se enfrentam.

ITEM 3.0

MDF: Medium Density Fiber Board (chapa de fibras de madeira de média densidade)

MDP: Medium Density Particle Board (chapa de partículas de madeira de média densidade)

OSB: Oriented Strand Board (chapa de tiras de madeira orientadas)

PEA: população economicamente ativa

PFM: produtos florestais madeireiros

PFNM: produtos florestais não madeireiros

PIB: produto interno bruto

RMSP: região metropolitana de São Paulo

PMVA: produtos de maior valor agregado

ITEM 4.0

WCC: Wood-Cement Composite (compósito madeira-cimento)