

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de
Pinus elliottii var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*
para produção de lâminas e manufatura de compensados**

Natalie Ferreira de Almeida

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em
Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Tecnologia de Produtos Florestais

**Piracicaba
2011**

Natalie Ferreira de Almeida
Engenheira Florestal

Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de lâminas e manufatura de compensados

Orientador:
Prof. Dr. **GERALDO BORTOLETTO JÚNIOR**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Almeida, Natalie Ferreira de

Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de lâminas e manufatura de compensados / Natalie Ferreira de Almeida. - - Piracicaba, 2011.
115 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.

1. Chapas de madeira 2. Compensado - Propriedades físicas - Propriedades mecânicas 3. Hibridação vegetal 4. Pinheiro I. Título

CDD 674.834
A447a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

A Deus,

Aos meus pais Maria Aparecida e Gumercindo.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela coragem, força e proteção.

Aos meus pais, Gumercindo e Maria Aparecida, pelo carinho, incentivo e por tudo que me ensinaram.

Aos demais familiares pelo carinho e incentivo.

Ao professor Geraldo Bortoletto Júnior pela orientação, amizade e paciência.

Aos colegas do laboratório Rafael, Alex, Saly e Paula pela amizade e bons momentos compartilhados.

À todos os professores, colegas e funcionários do Departamento de Ciências Florestais que me ajudaram na execução deste trabalho.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP pela oportunidade oferecida.

À todas as demais pessoas que contribuíram para que este trabalho fosse possível.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE TABELAS	15
1 INTRODUÇÃO.....	19
2 OBJETIVOS.....	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1 Características gerais dos parentais do híbrido <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	25
3.2 Características gerais do híbrido <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	26
3.3 Painéis à base de madeiras	29
3.4 Painéis compensados multilaminados	31
3.4.1 Histórico e mercado de painéis compensados no Brasil	32
3.4.2 Fatores que afetam as propriedades dos painéis compensados	34
3.4.2.1 Características da madeira	34
3.4.2.1.1 Espécie.....	34
3.4.2.1.2 Características do fuste.....	37
3.4.2.1.3 Características anatômicas.....	37
3.4.2.1.4 Madeira juvenil.....	38
3.4.2.1.5 Madeira de reação.....	39
3.4.2.1.6 Extrativos.....	40
3.4.2.1.7 pH da madeira.....	40
3.4.2.1.8 Teor de umidade	40
3.4.2.2 Processo de produção dos painéis compensados.....	41
3.4.2.2.1 Preparo das toras para a laminação.....	41
3.4.2.2.2 Laminação	43
3.4.2.2.3 Secagem das lâminas.....	44
3.4.2.2.4 Colagem dos painéis compensados	45

3.4.2.2.4.1 Características físico-químicas dos adesivos	48
3.4.2.2.5 Pré-prensagem e tempo de montagem.....	49
3.4.2.2.6 Ciclo de prensagem	50
3.4.3 Controle de qualidade dos painéis compensados	51
4 MATERIAL E MÉTODOS	53
4.1 Caracterização da área de coleta do material	53
4.2 Coleta do Material.....	53
4.3 Preparo das toras para laminação	54
4.3.1 Armazenamento das Toras.....	54
4.3.2 Aquecimento das Toras para Laminação	55
4.4 Produção de Lâminas	55
4.5 Determinação do Rendimento do Processo de Laminação	55
4.6 Secagem e classificação das lâminas	57
4.7 Manufatura dos Compensados	58
4.8 Processo de Colagem	58
4.9 Condições de Prensagem	59
4.10 Retirada dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos previstos.....	60
4.11 Delineamento Experimental e análise estatística dos dados dos ensaios.....	64
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
5.1 Densidade básica da madeira	67
5.2 Rendimento do processo de laminação	70
5.3 Classificação das lâminas.....	74
5.4 Massa específica aparente dos painéis compensados	75
5.5 Inchamento e recuperação em espessura	76
5.6 Resistência da linha de cola ao esforço de tração perpendicular	80
5.7 Flexão estática dos painéis compensados	85
6 CONCLUSÕES.....	95
REFERÊNCIAS.....	97
ANEXOS	105

RESUMO

Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de lâminas e manufatura de compensados

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de utilização da madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados. Para realização do estudo foram utilizadas 10 toras de 1,30 m de comprimento, provenientes de 5 árvores coletadas aos 7 anos e 10 meses de idade nos plantios da empresa Pinus Brasil, localizada em Buri - SP. O rendimento do processo de laminação das toras e a qualidade das lâminas produzidas foram avaliados. O delineamento para a produção experimental e avaliação dos painéis compensados constituiu-se de 8 tratamentos arranjados em esquema fatorial, através dos quais foram analisados os efeitos de duas posições de retirada da tora no tronco (A e B), duas gramaturas de adesivo (380 e 420g/m²) e dois tempos de prensagem (8 e 12 minutos). Para cada tratamento foram produzidos 3 painéis compensados, cada qual com 5 lâminas coladas entre si com adesivo à base de fenol-formaldeído. O rendimento médio do processo de laminação das toras, sem casca, foi de aproximadamente 53%, podendo ser considerado bom e compatível com outros resultados encontrados na literatura. As toras A, mais próximas da base das árvores, produziram maior número de lâminas, no entanto, de qualidade inferior em relação às lâminas das toras (B). A massa específica aparente dos painéis estudados foi relativamente baixa em comparação a outros compensados de Pinus, cuja propriedade apresentou valor médio estatisticamente superior para os compensados confeccionados com lâminas das toras A. Os painéis apresentaram boa estabilidade dimensional, sendo que o tempo de prensagem de 12 minutos para a produção dos compensados resultou em diminuição estatisticamente significativa do inchamento em espessura. O tempo de prensagem, gramatura de adesivo e posição da tora influenciaram os valores de resistência da colagem dos painéis, sendo que os maiores valores foram observados para os painéis produzidos com lâminas das toras B, tempo de prensagem de 12 minutos e gramatura de 420g/m². Os valores médios do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática dos painéis foram, respectivamente, compatíveis e inferiores quando comparados com os do Catálogo Técnico n°1 – Compensados de Pinus (ABIMCI, 2002). Houve efeito do fator posição da tora no MOR paralelo dos painéis e o maior valor médio foi observado para os compensados confeccionados com lâminas das toras da posição A. Houve interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem para o MOR e MOE perpendiculares, sendo que, de modo geral, os menores valores foram observados para os compensados confeccionados com lâminas das toras B e prensados no tempo de 12 minutos. Conclui-se que a madeira do híbrido estudado apresenta bom potencial para a produção de lâminas e manufatura de compensados. Porém, o emprego desses painéis em produtos que requeiram elevados valores do MOR e do MOE, por exemplo, em formas de concreto, não é aconselhável, porque esses painéis não satisfariam tais requisitos.

Palavras-chave: Híbrido de Pinus; Lâminas; Compensados; Propriedades físico-mecânicas

ABSTRACT

***Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* wood quality evaluation for veneer production and plywood manufacturing**

The main objective of this work was to evaluate the potential of wood utilization from *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* hybrid for veneer production and plywood manufacturing. This study used 10 logs measuring 1.30m in length, obtained from 05 trees, 07 years and 10 months of age, from plantations located in Buri – SP, Brazil. Peeling process yield and quality of veneers produced were evaluated. The experimental design consisted of eight treatments, arranged in a factorial way, being the effects of two log positions (A and B) on the trunk, two adhesive spread rates (380 and 420g/m²) and two press times (8 and 12 minutes). Three plywood panels were produced for each treatment and each panel was constituted of 05 veneers glued with an adhesive based on phenol-formaldehyde. The peeling process yield was approximately 53%, based on logs without bark, and can be considered good and compatible with other results found in the literature. The logs A, closer to the base of the tree, produced a greater number of veneers, but of inferior quality compared to the logs B veneers. The apparent specific mass of the plywood panels was relatively low, compared to other Pines plywood available in the literature, with a superior mean value for the plywood made with veneers of logs A comparing to logs B. The plywood panels showed good dimensional stability. The press time of 12 minutes resulted in significant thickness swelling decrease and the press time, adhesive spread rate and log position, influenced the bonding line strength. The best results of bonding line strength were obtained for the plywood produced with logs B veneers, press time of 12 minutes and spread rate of 420g/m². The static bending properties of the plywood panels studied, modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE), were compatible and inferior, respectively, compared to other Brazilian-pines plywood. There was an effect of the log position factor on the MOR-parallel-to-grain with best results obtained for plywood panels produced with veneers of logs A. There was interaction between the log position and press time factors on the MOR and MOE, both perpendicular-to-grain, with the lowest values observed for plywood panels produced with log B veneers and press time of 12 minutes. The hybrid pine wood studied has good potential for veneer production and plywood manufacturing. However, the use of these panels in products that require high values of MOR and MOE, for example, in formwork is not advisable, because these panels do not satisfy these requirements.

Keywords: Pinus hybrid; Veneer; Plywood; Physical-mechanical properties

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos produtos compostos de madeira	30
Figura 2 - Esquema de retirada das toras para a laminação e dos discos para a determinação da densidade básica	54
Figura 3 - A) Atomização de água nas faces B) Pós-prensagem a frio C) Climatização dos painéis.....	60
Figura 4 - A) Corpos-de-prova para o ensaio de resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento B) Corpo-de-prova antes e depois do ensaio, mostrando a ruptura na base do sulco, fora da linha de colagem.....	61
Figura 5 - A) Ensaio de tração perpendicular B) Corpos-de-prova ensaiados.....	62
Figura 6 - Esquema de retirada dos corpos-de-prova dos painéis compensados para os ensaios físicos e mecânicos. TU = teor de umidade; Me = massa específica aparente; IE = inchamento e recuperação em espessura; RLCT = resistência da linha de colagem à tração perpendicular; MOR = módulo de ruptura; MOE = Módulo de elasticidade.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características da resina fenólica CR – 7010.....	58
Tabela 2 - Ensaios físicos e mecânicos do compensado e normas adotadas.....	64
Tabela 3 - Tratamentos realizados na manufatura dos painéis compensados.....	65
Tabela 4 - Valores médios de densidade básica e teor de umidade da madeira do híbrido de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliotti</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> ...	67
Tabela 5 - Densidades básicas para algumas espécies de <i>Pinus</i> observadas na literatura.....	68
Tabela 6 - Diâmetros médios das toras com e sem casca, arredondadas e rolos-resto....	70
Tabela 7 - Volumes médios das toras obtidos nas diferentes etapas da laminação.....	71
Tabela 8 - Perdas geradas nas diferentes etapas da laminação, rendimento final do processo e fator de forma médio das toras.....	71
Tabela 9 - Classificação de lâminas geradas a partir de duas posições da tora (A e B) da madeira do híbrido de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	74
Tabela 10 - Valores médios de massa específica aparente e teor de umidade dos compensados de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	75
Tabela 11 - Teste de médias para a variável massa específica aparente do fator posição da tora.....	76
Tabela 12 - Valores médios de inchamento em espessura e recuperação da espessura dos painéis compensados de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	77
Tabela 13 - Valores médios de inchamento em espessura e recuperação da espessura de painéis compensados produzidos com cinco espécies de <i>Pinus</i>	78
Tabela 14 - Teste de médias para a variável inchamento em espessura do fator tempo de prensagem.....	79

Tabela 15 - Valores médios de resistência da linha de cola e falha da madeira a tração perpendicular dos painéis compensados de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	81
Tabela 16 - Valores médios de referência de resistência da linha de cola e falha da madeira de painéis compensados.....	82
Tabela 17 - Teste de médias para a variável RLCT dos fatores posição da tora e tempo de prensagem.....	83
Tabela 18 - Teste de médias para a variável RLCT dos fatores tempo de prensagem e gramatura.....	84
Tabela 19 - Valores médios de módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis compensados de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	86
Tabela 20 - Valores do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática de painéis compensados de <i>Pinus</i> spp - (PNQM - ABIMCI, 2002)	86
Tabela 21 - Comparação entre compensados obtidos a partir de diferentes espécies de <i>Pinus</i> por meio das relações entre a resistência e rigidez e a massa específica aparente do painel.....	87
Tabela 22 - Valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática de compensados de <i>Pinus</i> spp extraídos da literatura.....	88
Tabela 23 - Teste de médias para a variável MOR paralelo do fator posição da tora dos compensados de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	89
Tabela 24 - Teste de médias para a variável MOR perpendicular dos fatores posição da tora e tempo de prensagem dos compensados de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	90
Tabela 25 - Teste de médias para a variável MOE perpendicular dos fatores posição da tora e tempo de prensagem dos compensados de <i>Pinus elliottii</i> var. <i>elliottii</i> x <i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	92
Tabela 26 - Análise de variância para a variável densidade básica da madeira.....	107
Tabela 27 - Análise de variância para a variável massa específica aparente dos	

compensados.....	108
Tabela 28 - Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável inchamento em espessura dos compensados.....	109
Tabela 29 - Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável recuperação em espessura dos compensados.....	109
Tabela 30 - Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados...	110
Tabela 31 - Análise de variância do desdobramento dos fatores posição da tora dentro de cada nível de tempo de prensagem para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados.....	110
Tabela 32 - Análise de variância do desdobramento dos fatores tempo de prensagem dentro de cada nível de posição da tora para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados...	111
Tabela 33 - Análise de variância do desdobramento dos fatores gramatura de adesivo dentro de cada nível de tempo de prensagem para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados...	111
Tabela 34 - Análise de variância do desdobramento dos fatores tempo de prensagem dentro de cada nível de gramatura de adesivo para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados...	111
Tabela 35 - Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável módulo de ruptura paralelo dos compensados.....	112
Tabela 36 - Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável módulo e ruptura perpendicular dos compensados.....	112
Tabela 37 - Análise de variância do desdobramento dos fatores posição da tora dentro de cada nível de tempo de prensagem para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados.....	113
Tabela 38 - Análise de variância do desdobramento dos fatores tempo de prensagem dentro de cada nível de posição da tora para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados.....	113
Tabela 39 - Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável módulo	

de elasticidade paralelo dos compensados.....	114
Tabela 40 - Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável módulo de elasticidade perpendicular dos compensados.....	114
Tabela 41 - Análise de variância do desdobramento dos fatores posição da tora dentro de cada nível de tempo de prensagem para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados.....	115
Tabela 42 - Análise de variância do desdobramento dos fatores tempo de prensagem dentro de cada nível de posição da tora para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados.....	115

1 INTRODUÇÃO

O compensado é um painel feito de lâminas de madeira coladas entre si, com as fibras de cada lâmina orientadas perpendicularmente em relação à adjacente. Utiliza-se um número ímpar de lâminas, sendo mais comuns painéis compostos por 3, 5, 7 ou 9 camadas (KOLLMANN et al., 1975; TSOUMIS, 1991).

A ampla utilização dos compensados está relacionada à sua excelente estabilidade dimensional, a capacidade para suportar cargas de impacto que se impõe a certas estruturas, a resistência a rachaduras e as possibilidades de obtenção de painéis com grandes dimensões, de aplicação de preservativos contra organismos xilófagos adicionados à própria cola, de mesclar diferentes espécies de madeira em um mesmo painel resultando em flexibilidade da produção, de selecionar e utilizar lâminas com nós e até mesmo rachaduras no miolo e lâminas de maior qualidade na capa, cuja prática permite uma redução no custo e, conseqüentemente, no preço do produto final (WALKER, 1993; MACEDO; ROQUE, 1997).

Devido ao fato de possuir diversas características favoráveis, o compensado encontra utilizações das mais variadas como na construção civil para aplicações estruturais ou não, na construção de barcos, na fabricação de móveis (partes estruturais e decorativas), instrumentos musicais, embalagens industriais, caixas, dentre outros (BORTOLETTO JÚNIOR; GARCIA, 2004).

A qualidade de um painel compensado depende das características da madeira empregada, da qualidade das lâminas e dos procedimentos utilizados na manufatura dos painéis. O conjunto desses fatores, incluso entre eles o tipo de adesivo empregado, reflete diretamente sobre as propriedades físicas e mecânicas dos compensados (ARCHER, 1948).

Fator considerado importante, relacionado à produtividade do processo de produção de lâminas, é o rendimento da laminação. Para a obtenção de lâminas de qualidade e maior rendimento, destaca-se a qualidade da tora quanto à retinidade, fator de conicidade do fuste, diâmetro, rachaduras de topo e presença de nós na madeira (BALDWIN, 1981). Além das características inerentes a madeira, a obtenção de lâminas de qualidade pode ser conseguida através da regulação precisa do torno laminador (BONDUELLE, 1996).

Alguns estudos sobre a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados a

partir de espécies do gênero *Pinus* plantadas no Brasil foram realizados por autores tais como Jankowsky (1978, 1980a, 1980b); Medina (1986); Lara Palma (1997); Bortoletto Júnior (2006, 2008a, 2010) e Iwakiri et al. (2002a, 2002b, 2009). Os resultados desses estudos demonstraram que as lâminas obtidas foram viáveis e os painéis apresentaram características físicas e mecânicas adequadas.

A utilização da madeira de *Pinus* spp no Brasil encontra-se diversificada gerando produtos não só como lâminas, painéis compensados e madeira serrada, mas também painéis reconstituídos (MDP, MDF e OSB), destinados principalmente aos setores da construção civil, de móveis e embalagens, atendendo aos mercados interno e externo. Apesar do alto grau de diversificação atual, a cada dia surgem novos produtos e aplicações resultantes do esforço contínuo de pesquisas realizadas nas universidades, institutos e empresas do país e do mundo (BORTOLETTO JÚNIOR, 2006).

Ao realizar novos plantios, faz-se necessário avançar na silvicultura de outras espécies exóticas promissoras, além das já tradicionalmente plantadas, em especial coníferas, que pelas características gerais da madeira sempre terão mercado cativo. Para tanto, uma espécie de rápido crescimento é economicamente desejável (KLOCK, 2000).

No ano de 2000, a empresa Pinus Brasil deu início à implantação de talhões experimentais plantados com o híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (híbrido F2, registrado no Ministério da Agricultura, Agropecuária e Abastecimento). Estudos conduzidos até o momento pela mesma empresa sobre o desenvolvimento do híbrido em comparação com amostras fiéis de outros plantios puros de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, revelaram que o híbrido apresentou alta precocidade relativa, o que seria uma confirmação da viabilidade de investimento no híbrido, cujo material genético seria adequado para plantios nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil (PINUS BRASIL, 2009).

O híbrido em referência, sob o ponto de vista silvicultural, apresenta um alto potencial no que diz respeito à produção de madeira, porém, são escassas as referências na literatura sobre a qualidade dessa madeira e do seu potencial de aplicação tecnológico para geração de produtos madeireiros específicos, especialmente no Brasil. Neste contexto, o estudo do potencial da madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados é importante, na medida em que visa gerar

subsídios para uma futura utilização dessa madeira em escala comercial e aumentar as fontes de matéria-prima qualificada para o referido segmento da indústria madeireira.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o potencial da madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliotti* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados. Para alcançar o objetivo principal, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Avaliar o rendimento do processo de laminação de toras do híbrido;
2. Avaliar a qualidade das lâminas produzidas;
3. Avaliar os efeitos do uso das lâminas produzidas a partir de duas posições da tora no tronco, bem como os efeitos de duas gramaturas de adesivo e de dois tempos de prensagem utilizados na fase de manufatura dos painéis, sobre as propriedades físicas e mecânicas dos compensados obtidos;
4. Comparar os resultados do rendimento da laminação, da qualidade das lâminas e das propriedades dos compensados produzidos com dados de outras espécies do gênero *Pinus* disponíveis na literatura.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Características gerais dos parentais do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

O *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* é originário da região Sudeste dos Estados Unidos, abrangendo os Estados da Flórida, Carolina do Sul, Geórgia, Alabama, Mississippi e Louisiana. A espécie predomina em locais de solos de textura leve a pesada, geralmente ácidos e bem drenados. Suporta alagamentos periódicos curtos e tolera solos rasos (CARPANEZZI et al., 1986). Em seu local de origem, a altura da árvore pode alcançar entre 18 e 30 m e o diâmetro do tronco à altura do peito entre 60 e 80 cm (ANALÍA, 2010).

A madeira de *Pinus elliottii* apresenta cerne e alborno indistintos pela cor, branco-amarelado, brilho moderado, cheiro e gosto distintos e característicos (resina), macia ao corte, grã direita e textura fina (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT, 2003). A densidade da madeira, em idades mais avançadas, esta compreendida entre 0,50 e 0,56g/cm³ (CARPANEZZI et al., 1986).

É uma madeira classificada como susceptível ao ataque de fungos (emboloradores, manchadores e apodrecedores), cupins, brocas-de-madeira e perfuradores marinhos, no entanto, ela é fácil de ser tratada, trabalhada, desdobrada, aplainada, desenrolada, lixada, torneada, furada, fixada, colada e permite bom acabamento (IPT, 2003). Pode ser utilizada para construção civil (leve ou pesada), construção de barcos, produção de lâminas, compensados, chapas de fibras e de partículas, produção de celulose de fibra longa e é considerada excelente para a produção de resina (CARPANEZZI et al., 1986).

No Brasil, a espécie foi introduzida nos estados de Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (IPT, 2003).

O *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barrett e Golfari é originário da América Central e Caribe, abrangendo Cuba, Guatemala, Honduras, Nicarágua, Belize e Bahamas. É o *Pinus* tropical de maior distribuição geográfica, adaptando-se a uma ampla variedade de climas e solos, inclusive a solos pobres e com erosão, no entanto, a espécie não é tolerante a geadas e ventos fortes. A altura da árvore atinge entre 20 e 30 m, podendo em alguns casos chegar até 45

m, e seu diâmetro à altura do peito atinge entre 50 e 80 cm, podendo alcançar até 135 cm (ANALÍA, 2010).

As árvores de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentam rápido e vigoroso desenvolvimento inicial comparado a outras variedades de *Pinus*, formando madeira juvenil até 5 ou 8 anos de idade. A sua madeira é clara, amarelada, com lenho inicial normalmente largo e de baixa densidade, e lenho tardio normalmente estreito e de alta densidade, com textura grosseira e grã direita (LORENZI et al., 2003). A densidade varia entre 0,35 e 0,50 g/cm³ e a madeira pode ser empregada para construções leves ou pesadas, construção de barcos, fabricação de laminados, chapas de fibras e de partículas e produção de celulose de fibra longa. Adicionalmente, essa variedade é tida como boa produtora de resina (CARPANEZZI et al., 1986).

O *Pinus caribaea* var. *hondurensis* é a espécie de *Pinus* tropical mais plantada no Brasil e está distribuído nas regiões Amazônica, Centro-Oeste, Central, Leste e Sudeste, abrangendo uma área de aproximadamente 700.000 hectares (RIBEIRO, 2009).

3.2 Características gerais do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

A primeira tentativa de cruzamento entre o *Pinus elliottii* var. *elliottii* (PEE) e o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH) foi realizada em 1955 no Estado de Queensland – Austrália, com o objetivo de desenvolver um híbrido com qualidade superior a dos seus parentais. O PEE e o PCH possuem características complementares. O PEE possui tronco reto, é resistente a ventos fortes e mais tolerantes a solos mal drenados que o PCH. Já o PCH possui crescimento mais acelerado, apresenta fuste com poucas ramificações e sua madeira é mais uniforme (NIKLES, 2000).

Estudos de hibridação têm sido extensivamente empregados em Queensland com várias espécies de *Pinus* com o objetivo de desenvolver variedades mais produtivas e com características da madeira adequadas para o mercado de madeiras local (NIKLES, 2000).

Dados fornecidos por Nikles (2000) demonstram que o Estado de Queensland possuía 176.000ha de plantios de coníferas, tais como *Araucaria cunninghamii*, espécies de *Pinus* e híbrido de *Pinus*, os quais eram utilizados principalmente para a produção de madeira serrada e

painéis compensados. Os plantios de Pinus (131.000ha) concentravam-se principalmente nas planícies tropicais e subtropicais, abrangendo uma grande variedade de ambientes.

Entre as décadas de 1920 e 1930, sementes de PEE, provenientes do Norte da Flórida e Sul da Geórgia, foram implantadas em Queensland. Por volta do ano de 1940, sementes de PCH importadas de Belize foram implantadas em Queensland e, anos mais tarde, em meados de 1970 e 1980, foram iniciados novos plantios com sementes provenientes de diversas regiões da América Central, devido à grande variabilidade dessa espécie em diferentes ambientes (NIKLES, 1996, 2000).

Extensos plantios experimentais com o híbrido (PEE x PCH F1) foram estabelecidos no sudeste de Queensland e em Byfield. O híbrido demonstrou superioridade em crescimento, adaptação a uma ampla variedade de sítios e retilinidade do tronco igual ou superior a ambas as espécies parentais quando cultivados em locais com solos mal drenados (NIKLES, 2000).

Harding e Copley (2000) fizeram um levantamento dos principais estudos realizados, desde 1971, sobre as propriedades da madeira do híbrido (PEE x PCH F1) e seus parentais e a partir dos resultados os autores observaram que, de modo geral, a madeira do híbrido F1 apresentou valores médios intermediários de densidade básica (405 a 508 kg/m³) em relação aos parentais. A densidade da madeira do PEE foi superior (421 a 530 kg/m³), enquanto que a madeira do PCH apresentou densidade inferior (420 a 487 kg/m³). Apesar disso, segundo os autores, as diferenças entre as densidades das madeiras do híbrido e de seus parentais foram muito pequenas, muitas vezes não significativas estatisticamente, isto é, de pouco significado prático para o mercado de madeiras.

Apesar do híbrido PEE x PCH F1 ter demonstrado superioridade em crescimento em relação às espécies parentais, boa adaptação em diferentes sítios, alta retilinidade do fuste e madeira com boas propriedades, a sua implantação comercial foi dificultada devido à baixa viabilidade de suas sementes e a dificuldade da propagação vegetativa das suas mudas (NIKLES; ROBINSON, 1989; NIKLES, 1996, 2000).

Em meados de 1980 deu-se início a tentativa de autocruzamento da semente híbrida de PEE x PCH F1 gerando o híbrido PEE x PCH F2, o qual mostrou ser uma alternativa para superar os problemas de viabilidade das sementes e mudas do primeiro. Segundo Nikles (2000), estudos realizados com o híbrido PEE x PCH F2 demonstraram que suas mudas podem crescer bem como

mudas de híbridos F1, e as sementes híbridas de F2 apresentaram alta viabilidade. As madeiras dos híbridos F1 e F2 apresentaram características similares, sendo que os valores médios encontrados de densidade básica foram de 432 kg/m³ para o híbrido F2 e de 430 kg/m³ para o F1.

Além de Queensland, plantios experimentais com híbridos PEE x PCH F1, PEE x PCH F2 e outros híbridos de *Pinus* foram implantados também nos Estados Unidos (Flórida), Zimbábwe, Argentina e no Brasil, apresentando, na maioria dos casos, bons resultados (NIKLES, 1996; ANALÍA, 2010).

No Estado de São Paulo, a empresa Pinus Brasil deu início no ano de 2000 à implantação de talhões experimentais plantados com o híbrido PEE x PCH F2. Estudos conduzidos até o momento pela mesma empresa sobre o desenvolvimento do híbrido em comparação com amostras fiéis de outros plantios puros de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, revelaram que o híbrido apresentou alta precocidade relativa, o que seria uma confirmação da viabilidade de investimento no híbrido, cujo material genético seria adequado para plantios nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil (PINUS BRASIL, 2009¹).

De acordo com dados da empresa, o híbrido apresenta redução de dez anos em seu ciclo, entre implantação e corte final. A alta precocidade e maior produtividade por hectare, diminuição dos custos operacionais e, conseqüentemente, retorno mais rápido no seu investimento, fazem do cultivo um potencial gerador de recursos e investimentos da região (PINUS BRASIL, 2009).

Um levantamento não publicado realizado em janeiro de 2009 pela Pinus Brasil² em uma área de plantio experimental, localizada na Fazenda Pedra Maria (Buri - SP), propriedade da empresa, revelou que aos 5,6 anos de idade o híbrido apresentava incremento médio anual (IMA) de 44,8m³/ha/ano, o *Pinus elliottii* um IMA de 18,8m³/ha/ano e o *Pinus taeda* um IMA de 28,5m³/ha/ano.

Estudos realizados com outros híbridos de *Pinus* no Brasil têm apresentado bons resultados com relação à produtividade. Aroni e Rezende (2007) realizaram uma avaliação anual dos índices de produtividade do híbrido do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumannii*, no Estado de São Paulo. O híbrido apresentou maior incremento médio anual de volume em relação ao *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, porém mostrou-se inferior com relação a

¹ PINUS BRASIL. **Avaliação de teste de procedência.** Buri, 2009. (Informação Pessoal).

sua densidade média ponderada.

Moura et al. (1998) citados por Morais et al. (2005) relatam que estudos recentes têm evidenciado que híbridos do *Pinus oocarpa* com *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus patula* e outras espécies são promissores, em virtude da qualidade da madeira e da facilidade de propagação.

Shimizu (2006), afirma que o híbrido gerado pelo cruzamento do *Pinus tecunumanii* com o *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tem apresentado crescimento e densidade da madeira maiores do que em ambas as espécies parentais. Conforme o autor, isto é muito importante na implementação de programas de silvicultura intensiva baseada em propagação vegetativa massal de híbridos.

3.3 Painéis à base de madeiras

Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos por elementos obtidos a partir da redução da madeira sólida, os quais são reconstituídos através de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005). Esses painéis podem ser classificados em dois tipos: compostos laminados ou compostos particulados.

De acordo com Iwakiri (2005), os compostos laminados são classificados como painéis compensados laminados, sarrafeados, vigas e LVL (*Laminated Veneer Lumber*). Na classificação dos compostos particulados existem os painéis minerais que empregam partículas de madeira do tipo *flake* e *excelsior*; os painéis de fibras, subdivididos em chapas dura (*hardboard*) e isolante (*insulation board*), MDF (*Medium Density Fiberboard*); e os painéis aglomerados do tipo convencional (atualmente designados MDP – *Medium Density Particleboard*), *wafboard* e OSB (*Oriented Strand Board*), conforme esquematizado na Figura 1.

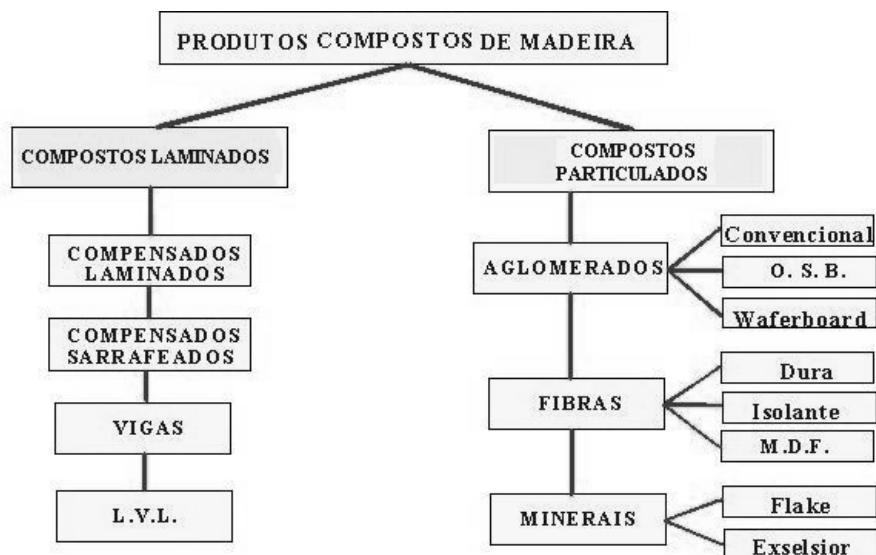


Figura 1 – Classificação dos produtos compostos de madeira (IWAKIRI, 2005)

Iwakiri (2005) ressalta que a vantagem em utilizar produtos de madeira reconstituída em relação à madeira sólida é o maior aproveitamento do material através da utilização de madeiras provenientes de plantios de rápido crescimento, do decréscimo de requisitos quanto à qualidade da matéria-prima e da possibilidade de utilizar madeiras de densidade baixa a média. Segundo Oliveira e Freitas (1995), muitos painéis que são produzidos com madeira de baixa qualidade podem possuir propriedades melhores do que as do material de origem, tais como a diminuição da anisotropia e o aumento da homogeneidade.

A indústria de painéis de madeira é de relevante importância para a economia brasileira, não só pela geração de divisas e empregos, como também pelo dinamismo que irradia, especialmente para o setor moveleiro e de construção civil (MACEDO; ROQUE, 1997).

Segundo dados do BNDES, as perspectivas são bastante positivas para o setor de painéis de madeira de forma geral. Os segmentos de MDP e MDF são os que apresentam um cenário mais positivo, pois o aumento da oferta se direciona para o mercado interno, podendo o seu excedente ser absorvido pelo mercado externo. O segmento de chapa de fibra deve manter-se estável, enquanto o segmento de compensado deverá trabalhar para vencer os desafios que se impõem com a queda ocorrida nas exportações nos últimos anos (MATTOS et al., 2008).

Segundo dados do IBGE, a construção civil no Brasil cresceu 9,9% no segundo trimestre

de 2008, em relação ao mesmo período do ano anterior. A indústria de madeira processada mecanicamente, que prevê investimentos da ordem de US\$ 5 bilhões até 2015, tem passado por momentos de crise em função da valorização da moeda brasileira frente ao dólar americano, além da queda da demanda imobiliária nos Estados Unidos. Com o crescente investimento na construção civil no país, a indústria madeireira está tendo a oportunidade de amenizar suas perdas de rentabilidade através de vendas direcionadas, principalmente, ao mercado interno (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI, 2008).

3.4 Painéis compensados multilaminados

O compensado é um painel feito de lâminas de madeira coladas entre si sob prensagem aquecida, com as fibras de cada lâmina orientadas perpendicularmente em relação à adjacente. Utiliza-se um número ímpar de lâminas, sendo mais comuns painéis compostos por 3, 5, 7 ou 9 camadas (KOLLMANN et al., 1975; TSOUMIS, 1991).

O direcionamento ortogonal de uma lâmina em relação à outra adjacente confere ao painel compensado excelente estabilidade dimensional, resultando em valores de retratibilidade similares, nas duas direções do plano do painel. Outra característica importante dos compensados é a capacidade para suportar cargas de impacto que se impõe a certas estruturas e a resistência a rachaduras (WALKER, 1993).

Além da estabilidade dimensional e das excelentes propriedades mecânicas, as principais vantagens do compensado são a possibilidade de obtenção de painéis de grandes dimensões, de aplicação de preservativos contra organismos xilófagos adicionados à própria cola, de mesclar diferentes espécies de madeira em um mesmo painel, o que permite uma redução no custo e, conseqüentemente, no preço do produto final pela utilização de lâminas com nós ou até mesmo manchas, e a seleção de lâminas de maior qualidade para capa. Essas características dos compensados, dentre outras, constituem os principais atributos para justificar a ampla utilização deste material (MACEDO; ROQUE, 1997).

O painel compensado tem múltiplas aplicações, tais como em construção civil, móveis, formas para concreto, embalagens etc. Segundo a norma NBR 9531 (ASSOCIAÇÃO

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1986a) os compensados podem ser classificados de duas maneiras. Na primeira classificação, que é a genérica, os painéis são classificados conforme o local de sua utilização, ou seja, para uso interior (IR), intermediário (IM) ou exterior (EX). E a segunda, que é a específica, está em função da sua utilização final, cujos compensados podem ser produzidos para uso geral, forma de concreto, decorativo, industrial e naval.

O local de utilização dos painéis depende do tipo de resina empregada na sua manufatura. Os compensados de uso interior empregam resina uréica e são utilizados principalmente na construção de móveis, constituinte de divisórias, ou outro tipo de objeto que não requer carga excessiva e não seja destinado a ambientes de alta umidade relativa (PRATA, 2006). No compensado de uso intermediário é empregado resina do tipo intermediário e o painel é destinado à utilização interna, mas em ambiente de alta umidade relativa, podendo eventualmente receber a ação da água. Já o compensado de uso exterior é produzido com resina a “prova d’água”, apresenta alta resistência mecânica como característica e destina-se a aplicações que requerem alta resistência a umidade e ao contato direto com a água (NBR 9534, 1986b). Neste caso, a resina mais empregada é à base de fenol-formaldeído em função das suas características de maior resistência e durabilidade (IWAKIRI et al., 2006).

3.4.1 Histórico e mercado de painéis compensados no Brasil

O desenvolvimento das indústrias de laminação só veio a ocorrer a partir da invenção do torno laminador, em 1818, para produção contínua de lâminas. A primeira indústria laminadora foi instalada na Alemanha nos meados do século XIX, e a partir do início do século XX verificou-se um grande impulso na produção de lâminas de madeira (IWAKIRI, 2005).

No Brasil, as indústrias de compensados surgiram na década de 30 e se concentravam na Região Sul do País. Durante a Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945), essas indústrias tiveram seu crescimento impulsionado pela demanda dos mercados americano e europeu (IWAKIRI, 2005).

Os primeiros painéis compensados produzidos no Brasil utilizavam, em grande escala, a madeira de *Araucaria angustifolia*, devido à abundância dessa espécie na época e também face às

suas excelentes características para obtenção de lâminas e fabricação de compensados (BONDUELLE et al., 2006). Contudo, com o avanço da agropecuária e a extração excessiva da madeira da Região Sul, as fábricas de compensados começaram a migrar para a Região Norte do País (PRATA, 2006).

Até 1998 a maior parte da matéria-prima utilizada para a produção de compensados era proveniente de florestas nativas. No entanto, as restrições quanto ao uso de madeiras nativas e o custo do transporte às grandes distâncias, e sobretudo a grande oferta de matéria-prima proveniente de florestas plantadas de *Pinus*, dadas a política de incentivos fiscais iniciada pelo governo na década de 60, acabou atraindo várias indústrias de compensados novamente para a Região Sul do País (ABIMCI, 2005).

A partir de 1999, a produção de compensados no Brasil passou a empregar em maior proporção matéria-prima proveniente de florestas plantadas (60%), em relação ao emprego de matéria-prima de florestas tropicais nativas (40%), caracterizando uma inversão do que se verificava anteriormente. Essa tendência se manteve e estimativas apontam que no ano de 2008 as proporções da produção total de compensado nacional teriam sido de 74% para o compensado de *Pinus* e de 26% para o compensado tropical, demonstrando a importância da participação do gênero *Pinus* no referido segmento industrial (ABIMCI, 2008).

Até o ano de 2004 a produção anual de painéis compensados estava crescendo de forma bastante acentuada, alcançando o volume recorde de 3,8 milhões de m³. Tal crescimento estava associado basicamente ao excelente desempenho das exportações. A produção brasileira de compensado estava predominantemente orientada para exportação (ABIMCI, 2005).

No entanto, a produção do compensado de *Pinus* apresentou uma leve queda de 3,5% de 2005 para 2006, embora os níveis de consumo deste produto tenham aumentando cerca de 13,1% no mercado interno. Já o mercado internacional dos painéis compensado apresentou grandes flutuações neste período, devido principalmente a valorização do Real frente ao Dólar Americano e ao Euro. Em relação ao compensado tropical a produção continuou em declínio, apresentando uma expressiva redução superior a 40% entre 2005 e 2006 (ABIMCI, 2007).

Em 2007, a indústria de compensado de *Pinus* no Brasil continuou em declínio com decréscimo de 16,6% em relação a 2006. O consumo interno diminuiu devido à forte concorrência com os painéis MDF e OSB nos setores de móveis e construção civil e as

exportações também continuaram em declínio, devido principalmente a desaceleração do setor de construção civil nos EUA. Os EUA eram o principal destino das exportações de compensados do Brasil e tem apresentado fortes reduções nos níveis de importação destes produtos (ABIMCI, 2008).

Embora o setor de painéis compensados no Brasil tenha apresentado queda em sua produção e nos volumes exportados, houve aumento no valor das exportações em relação aos anos anteriores, mostrando alguma recuperação nos preços. Além disso, empresas brasileiras estão buscando novos nichos de mercado para estes produtos, principalmente na China e Europa (ABIMCI, 2008).

3.4.2 Fatores que afetam as propriedades dos painéis compensados

3.4.2.1 Características da madeira

Algumas das mais importantes características da madeira que influenciam no processo de produção de lâminas e manufatura de painéis compensados são: espécie, característica do fuste, densidade, porosidade, alborno e cerne, lenho inicial e tardio, grã, madeira juvenil, madeira de reação, extrativos, pH e teor de umidade (TSOUMIS, 1991; ABIMCI, 2003b).

3.4.2.1.1 Espécie

De acordo com Baldwin (1981) a espécie de madeira utilizada na produção de um painel compensado responderá pelas características e propriedades tecnológicas do produto final, interferindo nas propriedades de colagem, estabilidade dimensional e resistência mecânica.

Segundo Walker (1993), existe uma grande variedade de espécies de madeiras com características adequadas para a produção de lâminas e painéis compensados, no entanto, a grande dificuldade está em encontrar espécies que possam promover o fornecimento contínuo de madeira que possibilitem a produção de toras de tamanhos e formas adequadas para a laminação.

As espécies dos gêneros *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp apresentam grande potencial para a laminação e produção de compensados em função das boas características da sua madeira, por

serem espécies de rápido crescimento e também devido à disponibilidade de grandes áreas plantadas no Brasil.

Apesar de diversos autores apontarem que as espécies de rápido crescimento possam apresentar algumas limitações técnicas relacionadas à madeira, sobretudo quanto a sua densidade, porosidade, presença de madeira de reação e grande proporção de madeira juvenil, pesquisas sobre o comportamento da madeira destas espécies para laminação e produção de painéis compensados têm sido amplamente realizadas no Brasil e as lâminas de *Pinus* já vêm sendo utilizadas pelas indústrias, desde o início da década de 90 (IWAKIRI et al., 2000).

Bortoletto Júnior (2008a) avaliou a qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas e encontrou bons resultados. O rendimento em laminação foi de 54,4%, e de acordo com o autor esse resultado foi relativamente superior aos rendimentos de outras espécies de *Pinus* encontrados na bibliografia. As lâminas apresentaram alta rigidez, uniformidade em espessura e, de modo geral, podem ser destinadas à manufatura de produtos multilaminados para usos estrutural e não-estrutural.

Bortoletto Júnior (2003) avaliou as propriedades físicas e mecânicas de compensados fenólicos de 11 espécies de eucalipto: *Eucalyptus pilulares* Sm., *E. propinqua* Deane et Maiden, *E. microcorys*, *E. maculata*, *E. pyrocarpa* Johnson et Blaxell, *E. tereticornis* Sm., *E. urophylla*, *E. Pellita* F. Muell, *E. citriodora*, *E. torelliana* e *E. saligna*. A partir dos testes de flexão estática o autor conclui que os compensados de todas as espécies podem ser destinados à construção e à fabricação de formas de concreto. Segundo os resultados de resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento, todas as espécies atenderam as normas para uso exterior, com exceção para o compensado de *Eucalyptus citriodora*, que se restringiria ao uso intermediário.

Jankowsky (1978) verificou que é tecnologicamente viável a utilização da madeira de *Pinus strobus* como matéria-prima para a produção de lâminas e painéis compensados de boa qualidade. Analisando-se as características do painel, poder-se-ia recomendar o uso para móveis e embalagens.

Jankowsky (1980b) avaliando a variação da resistência à flexão estática do compensado de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em função da quantidade de extensor e do tempo de montagem, verificou que o aumento na quantidade de extensor prejudica a qualidade da linha de cola, ocasionando uma diminuição na resistência à flexão estática no sentido paralelo. O autor

concluiu que, em termos de resistência à flexão estática, o compensado de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* poderia substituir o tradicional painel de *Araucaria angustifolia*.

Iwakiri et al. (2000) avaliaram a influência de diferentes composições de lâminas de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna* sobre o módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) em flexão estática de compensados. Os painéis foram produzidos com sete lâminas e colados com 380g/m² de resina fenólica por face dupla de lâmina. Dentre as diferentes composições de lâminas, os valores de MOE e MOR mostraram que a maior resistência da madeira de eucalipto em relação à madeira de *Pinus* influenciou positivamente na composição dos compensados.

Com relação às limitações apontadas por diversos autores considerando a produção de painéis compensados com madeiras de espécies de rápido crescimento, Tsoumis (1991) relata que no caso específico de coníferas, as diferenças em densidade entre os lenhos inicial e tardio e, ainda, entre os lenhos juvenil e adulto podem interferir no processo de colagem dos painéis e na resistência da linha de cola.

A madeira de eucalipto, embora represente uma alternativa potencial no abastecimento, apresenta restrições próprias e inerentes ao uso de florestas jovens, onde os níveis de tensões de crescimento se manifestam de forma mais proeminente do que em florestas maduras. As rachaduras associadas às tensões de crescimento e os defeitos de secagem podem resultar em significativa perda de madeira. Outros aspectos como madeira juvenil, nós e bolsas de resina, também, podem constituir obstáculos adicionais ao uso pleno da madeira de eucalipto (JANKOWSKY, 1995; PONCE, 1997; citados por ASSIS, 1999).

No que diz respeito à utilização de folhosas nativas, o custo de exploração, as grandes distâncias a serem vencidas com o transporte de toras, de lâminas, ou do compensado já manufaturado até os grandes centros de consumo, as fortes pressões dos grupos ambientalistas em relação à origem da madeira e a necessidade de certificação, são fatores que encarecem os custos podendo ser restritivos à plenitude do mercado de compensados tropicais e justificam momentaneamente a tendência de substituição por madeiras oriundas de florestas plantadas (BORTOLETTO JÚNIOR, 2003).

De acordo com Bortoletto Júnior e Belini (2002), no que diz respeito à plantios mistos com nativas, um ponto importante é procurar espécies que possam desempenhar bem seu papel ambiental e, ainda, gerar algum retorno financeiro para o proprietário da floresta por meio de um possível

aproveitamento para fins madeireiros, como exemplo, para produção de lâminas e manufatura de compensados. Segundo Iwakiri et al. (2002b), o aumento no número de espécies alternativas para laminação e produção de compensados significa ampliar a oferta de matéria-prima de qualidade para o setor madeireiro e, ao mesmo tempo, contribuir para a preservação ambiental.

3.4.2.1.2 Características do fuste

O diâmetro e a forma do fuste são alguns dos fatores primordiais na escolha de uma espécie adequada para a laminação. A qualidade da tora quanto à retidão e fator de conicidade do fuste, diâmetro da tora, ausência de fendas de topo e aquecimento da madeira quanto aos aspectos relacionados à produtividade, influenciam na obtenção de lâminas de qualidade e maior rendimento no processo de laminação (BALDWIN, 1981). Segundo Bonduelle et al. (2006), menor fator de conicidade, maior diâmetro da tora e menor rolo resto, são parâmetros básicos para maior rendimento da laminação.

3.4.2.1.3 Características anatômicas

As características anatômicas da madeira podem influenciar de diversas formas a produção de lâminas e painéis compensados, dentre elas a secagem das lâminas, formação da linha de cola e a densidade dos painéis.

De acordo com Marra (1992), a influência da estrutura anatômica da madeira na produção de painéis compensados está diretamente associada a variabilidade na densidade e porosidade que ocorre entre lenho inicial e tardio, e a pequena proximidade entre estas duas zonas na superfície da madeira. Essas diferenças de densidade e porosidade são causadoras de uma das maiores dificuldades a superar na formulação de adesivos, pois influencia a penetração do adesivo líquido na estrutura da madeira e, conseqüentemente, a formação da ligação adesiva entre as duas faces da madeira. Outra característica que influencia na colagem é a proporção de cerne e alburno. O cerne, em relação ao alburno, é menos permeável, possuindo maiores dificuldades na secagem e na absorção de líquidos.

A densidade da madeira não só influencia nas características de colagem, como também

nas propriedades mecânicas dos compensados. A densidade tem uma relação direta com a resistência mecânica dos painéis. Painéis estruturais com alta resistência só podem ser construídos com madeiras de maior densidade e, portanto, de maior resistência mecânica. Na composição de compensados, lâminas de maior densidade podem ser destinadas às capas e contracapas, por serem estas as áreas submetidas a maiores tensões de tração e compressão (BODIG; JAYNE, 1982 citados por IWAKIRI et al., 2009). De acordo com Lutz (1978) os valores de densidade básica da madeira mais adequados para a produção de lâminas variam entre 0,40 e 0,70 g/cm³. Para Walker (1993) as espécies adequadas para laminação possuem densidade básica entre 0,38 e 0,70 g/cm³, com preferência para aquelas com densidade próxima de 0,50g/cm³.

A direção da grã da madeira é também causa de sérios problemas relacionados à secagem das lâminas na produção de compensados. Durante o processo de secagem das lâminas o aparecimento de deformações como as torções e ondulações são causadas, na maioria das vezes, pela secagem inadequada e também em madeiras que possuem grã irregular e susceptíveis ao colapso (ABIMCI, 2004).

3.4.2.1.4 Madeira juvenil

A proporção de madeira juvenil é outra característica que influencia na produção de painéis compensados. De acordo com Klock et al. (2005) a madeira juvenil nas coníferas compreende o lenho próximo a medula (cerca de 10 a 12 anos) e apresenta como principais características: baixa densidade, traqueóides curtos, paredes celulares delgadas, baixa porcentagem de lenho tardio, alta porcentagem de grã espiralada, alta porcentagem de nós, menor porcentagem de celulose, alta porcentagem de lenho de compressão, menor contração transversal, menor resistência mecânica e maior ângulo microfibrilar.

Segundo Marra (1992), a madeira juvenil influencia negativamente no processo de laminação das toras, porém é relativamente fácil para processar a colagem, devido a sua baixa densidade e estrutura porosa. A qualidade de sua madeira é inferior a de uma madeira adulta, possuindo baixa resistência e elevada contração e inchamento ao longo da grã. Além disso, a madeira juvenil também influencia no processo de secagem das lâminas: ocorre maior frequência de defeitos em lâminas secas provenientes da região próxima a medula das toras (ABIMCI,

2004).

3.4.2.1.5 Madeira de reação

A madeira de reação ocorre, geralmente, em árvores localizadas em encostas e em árvores de bordadura susceptíveis a ação do vento. Este tipo de madeira, também chamado de lenho de reação, apresenta uma série de particularidades que influenciam na produção de painéis compensados. Esse tipo de lenho apresenta altos níveis de contração e inchamento axial, causadores de empenamentos, além de densidade anormalmente alta e baixa resistência mecânica.

Nas coníferas, o lenho de reação é conhecido como madeira de compressão. A madeira de compressão parece apresentar seus anéis compostos, na maior parte, de lenho tardio, com uma gradual transição para o lenho inicial. Apresenta-se com baixo teor de celulose e alto teor de lignina, e se caracteriza por possuir densidade e contração longitudinal mais elevada, contudo, a resistência mecânica é inferior em relação à madeira normal (TSOUMIS, 1991). Segundo Tomazello Filho e Silva (1987), os principais fatores que levam a formação da madeira de compressão são as características de crescimento da espécie (tortuosidade do tronco, formação da copa, ramos, etc.); a incidência de agente externos (ventos); e estímulos da atividade cambial causados por hormônios de crescimento (AIA).

Nas folhosas, o lenho de reação é conhecido como madeira de tração, a qual se caracteriza pela falta de lignificação na parede celular e, frequentemente, pela presença de uma camada gelatinosa no interior das fibras. Como consequência, destaca-se a elevada instabilidade dimensional, principalmente no sentido axial, baixa resistência à compressão e flexão, além das superfícies permanecerem ásperas, com dificuldades para a trabalhabilidade e colagem (BENDTSEN, 1978 citado por ALBUQUERQUE; LATORRACA, 2000).

Ponce (1971) relata que a madeira de compressão das coníferas e a madeira de tração das folhosas são causadoras de empenamento em compensados. Segundo o autor o aumento de densidade na madeira de compressão em relação à madeira normal pode causar variação na espessura das lâminas durante o processo de laminação. Além disso, o grande problema da madeira de compressão é a sua grande retratibilidade longitudinal.

3.4.2.1.6 Extrativos

Os extrativos são substâncias orgânicas classificadas como materiais acidentais ou estranhos a madeira. Apesar de se apresentarem em quantidades relativamente pequenas, os extrativos são responsáveis muitas vezes por certas propriedades da madeira, tais como cheiro, gosto e cor, e também exercem grande influência nas propriedades e na qualidade de processamento das madeiras (KLOCK et al., 2005).

A presença de alto teor de extrativos, em algumas espécies de madeira, pode influir negativamente sobre a qualidade da colagem de suas lâminas. O problema geralmente ocorre quando essas lâminas de madeira são submetidas à secagem a altas temperaturas, cujo processo promove a migração dos extrativos para a superfície das lâminas tornando-as “inativas” ou “contaminadas”, podendo prejudicar a penetração do adesivo e, por consequência, a formação da linha adesiva entre elas (SELLERS, 1985).

3.4.2.1.7 pH da madeira

Na colagem de produtos de madeira existe a preocupação de que o pH da madeira possa interferir no pH do adesivo, no caso de apresentarem diferenças significativas, prejudicando assim o processo de cura do adesivo. A acidez extrema pode reduzir a resistência da junta de colagem e ainda afetar os compostos celulósicos da madeira (MARRA, 1992).

Segundo Silva et al. (2004), madeiras com pH excessivamente ácido podem causar a pré-cura da resina uréia-formaldeído durante a fase de fechamento da prensa, prejudicando as propriedades finais do painel. Por outro lado, na colagem com resina fenol-formaldeído o baixo pH da madeira pode retardar a cura da resina.

3.4.2.1.8 Teor de umidade

O teor de umidade da madeira é um parâmetro importante e exerce influência sobre o processo de colagem, tempo de secagem e prensagem das lâminas dos compensados. Para a produção de painéis compensados o teor de umidade das lâminas deve ser em função do tipo de

resina a ser utilizada na colagem. Para colagem com a resina uréia-formaldeído, as lâminas devem possuir teor de umidade na faixa de 10 a 12%, enquanto que, para a resina fenol-formaldeído, o teor de umidade das lâminas deve ser na faixa de 4 a 6% (IWAKIRI, 2005).

O tempo de secagem das lâminas depende do teor de umidade inicial e final desejado. Desta forma, quanto maior o teor de umidade inicial e menor o teor de umidade final da lâmina, maior será o tempo de secagem (IWAKIRI, 2005).

Em relação ao processo de prensagem dos painéis, o alto teor de umidade das lâminas, em combinação com temperaturas maiores que a recomendada, pode provocar a formação de bolsas de vapor e resultar em “estouro” e delaminação do painel no momento e após a abertura da prensa. Por outro lado, para lâminas com baixo teor de umidade, mas com maior gramatura e grau de extensão do adesivo, aumenta a quantidade de água na linha de cola que se transforma em vapor, podendo também resultar em “estouro” e delaminação do painel (IWAKIRI, 2005).

O teor de umidade também deve ser uniforme em todas as lâminas do painel, pois lâminas com umidade desigual podem provocar o empenamento do painel (JANKOWSKY, 1979).

Outro fator influenciado pelo teor de umidade é o tempo de prensagem dos painéis. A umidade presente nas lâminas auxilia na transferência de calor dos pratos da prensa para a linha de cola mais interna do painel, trazendo uma maior eficácia na cura da resina (IWAKIRI, 2005).

3.4.2.2 Processo de produção dos painéis compensados

3.4.2.2.1 Preparo das toras para a laminação

O processo de preparo das toras tem como objetivo facilitar a laminação, bem como produzir lâminas de qualidade.

O preparo para a laminação já começa nas condições de armazenamento das toras. Alguns procedimentos operacionais no pátio de armazenamento são de extrema importância e podem influenciar diretamente na qualidade das lâminas que serão produzidas, no rendimento da laminação e evitar ou minimizar os problemas de fendilhamento, ocorrência de mancha azul, ataque de agentes biodegradadores e ocorrência de bactérias que podem causar odores indesejáveis e aumento da porosidade da madeira (IWAKIRI, 2005).

Para que se tenham condições adequadas para o armazenamento das toras, alguns procedimentos devem ser seguidos tais como: as toras devem ser armazenadas por um período mínimo de tempo; utilizar as toras mais antigas por ordem de chegada; impermeabilização de topos com produtos químicos para evitar secagem excessiva; manutenção da casca (proteção da madeira); e manter toras com alto teor de umidade, através de sistema de aspersão (pátio) ou submersas na água (IWAKIRI, 2005).

Já consideradas as condições adequadas de armazenamento, as fases seguintes do processo de preparação das toras são: descascamento, seccionamento e aquecimento, cuja sequência dependerá da propensão da madeira ao fendilhamento de topo (SELLERS, 1985). Para as espécies de folhosas, que são mais propensas ao fendilhamento de topo, sugere-se a seguinte sequência: descascamento, aquecimento das toras em grandes comprimentos e posterior conversão em toras menores conforme o equipamento disponível para a laminação. Para as espécies de coníferas, menos propensas ao fendilhamento, sugere-se, após descascamento, proceder primeiramente ao seccionamento em toras menores adequadas às dimensões do equipamento disponível para laminação e, posteriormente, o aquecimento (TSOUMIS, 1991).

O aquecimento das toras aumenta a plasticidade da madeira, facilita o corte e melhora as condições de laminação, principalmente quando se considera madeiras duras, das quais se pretende obter lâminas espessas (BONDUELLE, 1996; SUCHSLAND; JANKOWSKY, 1978).

A temperatura e o tempo ideal de aquecimento dependem da densidade da madeira e do diâmetro da tora, sendo que, de modo geral, madeiras duras de maior diâmetro, podem requerer tempo e temperatura maiores. No entanto, o aquecimento das toras não deve ultrapassar os limites recomendados para cada tipo de madeira, pois pode produzir o arrepiamento das fibras ou rachaduras nos extremos (SUCHSLAND; JANKOWSKY, 1978).

Geralmente o aquecimento das toras é recomendado para obtenção de lâminas de madeiras duras a serem usadas na face do compensado. Quando a lisura e a firmeza da superfície da lâmina não é muito importante, como exemplo aquelas utilizadas em compensados estruturais ou para embalagens, o aquecimento pode ser desnecessário (SUCHSLAND; JANKOWSKY, 1978).

Medina (1986) estudou o efeito da temperatura de aquecimento (20, 40 e 60°C) de toras na obtenção de lâminas e na qualidade de compensados de *Pinus elliottii* e concluiu que foi

conveniente aquecer as toras para a laminação. O aquecimento melhorou o rendimento do processo de laminação, a qualidade das lâminas obtidas e a resistência mecânica da linha de colagem dos compensados. O autor observou que a resistência da linha de cola ao cisalhamento aumenta ao aumentar a temperatura de laminação para 60°C e atribui este resultado ao fato de melhorar as características de resistência mecânica das lâminas, por diminuição da profundidade das fendas de laminação

Na avaliação da linha de colagem o autor comenta que os diferentes níveis de temperatura de aquecimento originaram lâminas de qualidade estatisticamente diferentes, sendo a temperatura de 60°C a mais recomendada.

Keinert Júnior e Alberto (1992) avaliaram a influência da temperatura de aquecimento das toras (20, 40 e 60°C) sobre a resistência de colagem ao esforço de cisalhamento em compensados fenólicos de *Pinus taeda*. Os autores verificaram que a temperatura de aquecimento afetou os valores de resistência ao esforço de cisalhamento, sendo a melhor temperatura a de 60°C.

3.4.2.2.2 Laminação

O processo de laminação é uma operação que consiste em obter um lençol contínuo de madeira (laminado) através do giro da tora fixada entre duas garras e do avanço do conjunto cortante do torno laminador. A produção de lâminas de boa qualidade a partir de vários tipos de madeira pode ser conseguida através de um tratamento térmico conveniente e da regulação precisa do torno laminador (BONDUELLE, 1996).

A regulação do torno laminador deve ser feita visando condições ótimas de corte e com adequadas condições operacionais do equipamento, tais como: velocidade de corte, ajuste da geometria da faca e barra de compressão, afiação da faca, entre outros (LUTZ, 1978).

A velocidade de corte pode variar na faixa de 30 a 50 metros/minuto, sendo que, em velocidades menores, a qualidade da lâmina aumenta em termos de rigidez e suavidade da superfície, no entanto, a produção será menor (IWAKIRI, 2005).

A faca é a ferramenta de corte da madeira no torno laminador e o maior ou menor ângulo de faca poderão influenciar significativamente na qualidade das lâminas produzidas e nas condições operacionais do torno. Menor ângulo de faca é recomendado para laminação de

madeiras de baixa densidade e para obtenção de lâminas de maior espessura. A utilização de ângulos maiores que a recomendada, poderá causar a vibração da tora e resultar em lâminas com superfície áspera, além de ocorrer o esmagamento da madeira (IWAKIRI, 2005).

A barra de compressão é a ferramenta que tem a finalidade de comprimir a madeira imediatamente antes do corte, de modo a evitar rachaduras e guiar e apoiar o corte da faca. Se a barra de compressão não estiver regulada adequadamente as lâminas poderão apresentar diversos defeitos, tais como fendas, arrancamento das fibras, irregularidade na espessura e enrugamento (BONDUELLE, 1996).

A rugosidade e a presença de fendas de laminação nas superfícies das lâminas levam a um maior gasto de adesivo na fabricação dos painéis. Com a prensagem o adesivo escoar e preenche as cavidades, deixando, porém, as partes salientes com deficiência de adesivo (ARCHER, 1948).

Interamense (1998) cita que durante o processo de laminação um controle preciso na uniformidade da espessura das lâminas faz-se necessário para que, posteriormente, essas lâminas possam ter uma colagem eficiente, um lixamento controlado e um maior controle na espessura final do painel compensado.

Jankowsky (1978) avaliou a produção de lâminas de *Pinus strobus* a partir de três regulagens do torno laminador e observou que houve diferença na qualidade das lâminas obtidas, porém, a resistência dos painéis compensados manufaturados com essas lâminas não foi afetada.

3.4.2.2.3 Secagem das lâminas

A secagem de lâminas de madeira é um processo de retirada de água até um determinado teor de umidade, no qual as condições para a sua colagem e formação de painéis sejam adequadas (IWAKIRI, 2005). A maior ou menor umidade final das lâminas é função do tipo de adesivo empregado, sendo que o conteúdo de umidade final fica por volta de 10% (SILVA, 1998).

Segundo Iwakiri (2005), a secagem de lâminas está diretamente relacionada à madeira e as condições do processo empregado. Com relação à madeira, as variáveis mais importantes são a espécie, densidade, espessura da lâmina, teor de umidade inicial e final da lâmina. Quanto ao processo de secagem, as variáveis que devem ser controladas são a temperatura nas diferentes seções do secador, velocidade do ar, volume de lâminas e velocidade de alimentação.

Umaña e Brito (2004) afirmam que a secagem de lâminas de madeira, apesar de ser mais fácil que a secagem de madeiras serradas, por possuírem aquelas menores espessuras, torna-se um dos fatores mais importantes durante a fabricação do compensado, visto que, altos teores de umidade geralmente resultam em uma colagem pobre. Quando o teor de umidade está abaixo do ideal, as lâminas tendem a sugar o adesivo, empobrecendo a linha de colagem.

De acordo com ABIMCI (2004) defeitos ocorridos durante o processo de secagem de lâminas podem ser provenientes das características da madeira, tais como madeira juvenil, extrativos, porosidade, densidade, grã, entre outros. O controle das variáveis do processo de secagem, tais como temperatura, velocidade do ar, velocidade de passagem das lâminas através do secador, bem como os procedimentos posteriores à secagem, tais como armazenamento e manuseio das lâminas secas, pode minimizar o aparecimento de torções, ondulações, variação de umidade em uma mesma peça, trinca na borda e no topo, superfície inativa ou contaminada por extrativos, superfície chamuscada e alteração na coloração da lâmina.

3.4.2.2.4 Colagem dos painéis compensados

Na colagem de lâminas de madeira para produção de compensados, devem-se levar em conta as características inerentes à madeira; o tipo, a quantidade e a composição do adesivo; como também os procedimentos empregados na colagem, os quais têm importância fundamental na qualidade das chapas (BALDWIN, 1975).

A densidade, a porosidade, as diferenças entre lenho inicial e tardio, e entre o lenho juvenil e adulto da madeira, têm influência na formação da linha de cola e ligação entre as lâminas que constituem a chapa (MARRA, 1992). Outras características como pH da madeira e extrativos presentes, poderão influenciar na cura da resina e, conseqüentemente, na qualidade da colagem das chapas produzidas (SILVA et al., 2004).

Dentre os adesivos empregados para a manufatura de painéis compensados, os à base de fenol-formaldeído e uréia-formaldeído são os mais utilizados. O adesivo de fenol-formaldeído é empregado na fabricação de compensados para uso exterior, devido à sua alta resistência à umidade. A resina de uréia-formaldeído possui uma ampla aplicação na indústria madeireira, em todo o mundo, tendo em vista o seu baixo custo em relação às outras resinas. No entanto, esta

resina é classificada como de uso interno devido a sua susceptibilidade a degradação hidrolítica na presença de umidade e/ou ácidos, especialmente em temperaturas moderadas a elevadas (IWAKIRI, 2005).

A aplicação do adesivo varia de acordo com o tipo de adesivo, número de linhas de cola por lâmina, tipo de equipamento e quantidade de adesivo aplicado. Os equipamentos aplicadores de adesivos permitem o controle da quantidade a ser aplicada e, são, portanto, responsáveis pela gramatura da linha de cola e velocidade de alimentação das lâminas. Alguns tipos de aplicadores de adesivos são: rolo, *spray*, cortina e extrusão (SILVA, 1998).

A quantidade de adesivo empregada na fabricação de compensados em geral é um fator importante, pois influi decisivamente na resistência da junta e na estabilidade do produto colado (SELBO, 1975).

Lima e Pio (2007) avaliando o efeito de diferentes níveis de gramatura (270, 330, 364 e 390 g/m²) de adesivo fenólico sobre as propriedades mecânicas de compensados de *Copaifera duckei* e *Eperua oleifera*, concluíram que os tratamentos aplicados aos painéis produzidos com *E. oleifera* não mostraram diferenças estatisticamente significativas de resistência e rigidez à flexão estática no sentido paralelo as fibras e, assim, recomendaram a utilização da menor gramatura estudada. Já para os painéis produzidos com *Copaifera duckei*, os autores observaram que a rigidez e resistência aumentaram numericamente com o aumento da gramatura de cola empregada.

Almeida et al. (2004) avaliaram duas gramaturas (320 e 360 g/m²) de adesivo à base de uréia-formaldeído na produção de compensados com as madeiras de dois clones do híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* e observaram que não houve efeito significativo das gramaturas avaliadas sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis produzidos. Com base nesse resultado, os autores indicaram a menor gramatura estudada para a colagem dos compensados de ambos os clones em futura escala industrial.

Os adesivos utilizados na manufatura de compensados são preparados ou formulados incorporando vários ingredientes, tais como resina, extensor, água, catalisador, materiais de enchimento e aditivos químicos como retardantes de fogo, produtos contra agentes biodegradadores, entre outros, os quais são misturados, em proporções previamente especificadas, através de equipamentos denominados misturadores ou batedeiras (IWAKIRI,

2005).

Diferentes formulações de adesivo, com a incorporação de proporções variadas de extensores e água, podem ser adotadas para otimizar a relação custo–benefício, na colagem de lâminas para compensados (IWAKIRI et al., 2002c). Nos adesivos à base de uréia-formaldeído, é uma exigência técnica e econômica a incorporação de extensores, geralmente, a farinha de trigo (JANKOWSKY, 1980a).

Jankowsky (1980b) avaliou a variação da resistência a flexão estática de compensados de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em função da quantidade de extensor incorporada, cuja extensão foi de 50%, 100% e 150% em relação ao peso de adesivo (uréia-formaldeído). O autor observou que o aumento na quantidade de extensor prejudicou a qualidade da linha de cola, tendo ocasionado uma diminuição na resistência à flexão estática no sentido paralelo.

Iwakiri et al. (2002c) avaliaram três formulações do adesivo uréia-formaldeído variando, em partes por peso, a quantidade de extensor (25, 75 e 125) e água (20, 80 e 140), nas propriedades físicas e mecânicas de painéis compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*. Os autores concluíram que as formulações do adesivo com maior proporção de resina não contribuíram de forma efetiva para melhorar os resultados de resistência da linha de cola, módulos de elasticidade e de ruptura à flexão estática. Os valores médios de inchamento mais recuperação em espessura dos painéis produzidos com diferentes formulações do adesivo não apresentaram diferenças significativas, no entanto, os autores verificaram tendências claras de aumento na recuperação em espessura, para painéis produzidos com maior proporção relativa de resina.

Iwakiri et al. (1999) avaliaram a produção de compensados de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus robusta* a partir de três formulações da resina uréia-formaldeído e constataram que a formulação do adesivo com maior proporção de resina e menor grau de extensão contribuiu para aumentar os valores médios de módulo de ruptura à flexão estática e de resistência da linha de cola, porém os valores médios de módulo de elasticidade das chapas não foram alterados.

Iwakiri et al. (2006) estudaram as propriedades físicas e mecânicas de compensados de *Eucalyptus grandis* em comparação com compensados de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*, utilizando duas formulações distintas do adesivo fenol-formaldeído, sendo que a primeira formulação foi preparada sem adição de água e extensor e a segunda foi preparada com 15 partes

de água e 10 partes de extensor (trigo) por peso do adesivo. Os resultados demonstraram que, ao contrário do que foi observado nos trabalhos de Jankowsky (1980b) e Iwakiri et al. (1999), a formulação que incluía farinha de trigo e água apresentou maior resistência na linha de cola.

De acordo com Marra (1992), para maiores proporções de resina, em partes por peso do adesivo na sua formulação, a qualidade da ligação adesiva será superior. Na condição inversa, com maior grau de extensão, o custo final do adesivo será inferior, no entanto a qualidade da ligação também será inferior. O ideal, portanto, seria a otimização da relação custo-benefício, em função dos requisitos técnicos com base nas classes de qualidade do compensado, para o uso a que se destina. Quantidades de água são também agregadas ao processo com a finalidade de reduzir a viscosidade e baratear o produto final.

3.4.2.2.4.1 Características físico-químicas dos adesivos

Existem algumas características físico-químicas dos adesivos que influenciam diretamente na colagem, tais como pH, viscosidade, tempo de gelatinização (*gel time*) e teor de substâncias sólidas.

O pH tem influência sobre a solidificação da junta de cola. A acidez extrema pode reduzir a resistência da linha de cola e ainda pode afetar os compostos celulósicos da madeira (KOLLMANN et al., 1975). O pH da madeira pode também entrar em conflito com o pH do adesivo, no caso de apresentarem diferenças significativas, prejudicando assim a cura do adesivo. Outro efeito é a descoloração da madeira causada pela alcalinidade de alguns adesivos (MARRA, 1992).

A viscosidade pode ser utilizada como critério de “idade” do adesivo, a qual aumenta com o tempo de estocagem, além de influenciar de forma direta nas condições de espalhamento sobre a superfície do substrato (IWAKIRI, 2005).

Adesivos mais viscosos podem apresentar maior dificuldade de esparramamento, menor penetração na estrutura capilar da madeira e redução da umectação, formando uma linha de cola espessa e conseqüentemente de qualidade inferior. Já os adesivos de menor viscosidade podem penetrar demais na madeira, podendo resultar numa linha de cola “faminta”, também de qualidade relativamente inferior (IWAKIRI, 2005).

O tempo de gelatinização (*gel time*) corresponde ao período que decorre desde a

preparação do adesivo, que inclui as adições de catalisador, extensor e outros, até o “ponto” de endurecimento, ou fase de gel, momento no qual a viscosidade do adesivo é a máxima admissível para a sua aplicação. Portanto, o conhecimento do *gel time* é importante porque fornece informações sobre a vida útil do adesivo após o seu preparo. O tempo de gelatinização reduz com o aumento da temperatura, a qual acelera a reatividade do adesivo, influenciando o tempo de prensagem dos painéis (IWAKIRI, 2005).

O teor de substâncias sólidas é definido como a quantidade de sólidos contida na resina, também composta por uma porção líquida volátil, constituída por solventes orgânicos. O conteúdo de sólidos atua na resina após a cura, na formação da linha de cola, que é responsável pela transferência de tensões através do sistema madeira-linha de cola-madeira, além da ligação entre os substratos (IWAKIRI, 2005).

3.4.2.2.5 Pré-prensagem e tempo de montagem

A pré-prensagem tem sido adotada para auxiliar a transferência e distribuição do adesivo entre as lâminas e facilitar as operações de carregamento da prensa.

O tempo de montagem ou montagem deve ser tal que permita a transferência do adesivo de uma lâmina para a outra, a penetração do adesivo nas células superficiais das lâminas e o umedecimento dessas lâminas (IWAKIRI, 2005). Se o tempo de montagem for menor que o ideal, não haverá a penetração do adesivo, resultando em uma linha de cola espessa. Se for maior, ocorrerá uma polimerização parcial do adesivo antes da prensagem. Em ambos os casos a qualidade do painel será prejudicada (JANKOWSKY, 1980a).

De acordo com a ABIMCI (2003b), as resinas a base de extratos vegetais, especialmente as derivadas de taninos, não necessitam de tempo de espera após serem aplicadas às lâminas, podendo ir diretamente à prensa, tornando muito prático o processo, principalmente quando se trata de fluxo de colagem contínuo, automático ou semi-automático.

Jankowsky (1980b) avaliou a variação da resistência a flexão estática de compensados de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* colados com uréia-formaldeído, em função do tempo de montagem de 5, 15, 30 e 45 minutos. De acordo com os resultados, o autor observou que a resistência máxima a flexão estática foi obtida para um tempo de montagem entre 15 e 30

minutos.

3.4.2.2.6 Ciclo de prensagem

O ciclo de prensagem constitui-se de parâmetros que devem ser controlados na prensagem a quente dos painéis compensados, tais como a pressão, a temperatura e o tempo de prensagem. O controle dessas variáveis tem como objetivo assegurar o contato superficial adequado entre as lâminas e promover a cura da resina para a formação da linha de cola (BALDWIN, 1981; SELLERS, 1985).

A pressão aplicada durante a prensagem dos painéis tem por finalidade a transferência do adesivo entre as lâminas e assegurar um contato adequado entre as lâminas e os pratos quentes da prensa. Com a prensagem, ocorre a redução de espaços vazios na madeira devido à compressão e melhora a transferência de calor da superfície para o centro do painel (IWAKIRI, 2005).

O tempo de prensagem corresponde ao intervalo decorrido desde o momento em que a prensa alcança a pressão final desejada até a sua abertura. Este tempo deverá ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura ideal para a cura da resina, bem como para que a migração da umidade até as bordas do painel ocorra (PRATA, 2006).

O tempo de carregamento e fechamento da prensa não deve ultrapassar o recomendado, pois o adesivo poderá “endurecer” precocemente ocasionando a sua pré-cura antes que a prensa atinja a pressão final desejada. O tempo de permanência sob a pressão desejada deverá ser calculado em função da umidade das lâminas e das características físico-químicas do adesivo (ABIMCI, 2003a).

A temperatura de prensagem é definida em função da temperatura necessária para a cura da resina, que se encontra na faixa de 95 a 120°C para resina de uréia-formaldeído e na faixa de 130 a 150°C para resina de fenol-formaldeído. Auxiliam na definição da temperatura de prensagem e do tempo de prensagem as taxas de transferência de calor através da madeira e através do vapor advindo tanto da linha de cola úmida como da umidade da própria lâmina de madeira (IWAKIRI, 2005).

Medina (1986) avaliou as propriedades de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* produzidos a partir de três tempos (3, 6 e 9 minutos) e temperaturas (135, 145 e 155°C) de

prensagem. As variáveis influenciaram de maneira significativa o grau de cura do adesivo, sendo a melhor colagem para os painéis prensados a temperatura de 145°C durante 6 minutos.

Almeida et al. (2004) avaliaram o efeito do tempo de prensagem (8 e 12 minutos) e gramatura (320 e 360 g/m²) do adesivo uréia-formaldeído na produção de compensados com madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e observaram que o menor tempo de prensagem avaliado resultou em painéis de maior estabilidade dimensional.

Keinert Júnior e Alberto (1992) avaliaram a influência do tempo (6 e 9 minutos) e temperatura (135, 145 e 155°C) de prensagem sobre a resistência de colagem ao esforço de cisalhamento em compensados fenólicos de *Pinus taeda*. Os autores verificaram que a combinação entre os fatores temperatura de prensagem de 145°C e tempo de prensagem de 9 minutos foi a que proporcionou painéis compensados com maior resistência na linha de cola ao esforço de cisalhamento.

3.4.3 Controle de qualidade dos painéis compensados

A qualidade do painel compensado relaciona-se com a qualidade das lâminas e com as variáveis envolvidas no seu processamento, principalmente a espécie de madeira, o adesivo e o tempo de montagem da chapa (JANKOWSKY, 1980a). Estas características refletem nas propriedades físicas e mecânicas do compensado obtido (JANKOWSKY, 1983).

A avaliação das lâminas de madeira compreende um procedimento importante para a obtenção de um bom compensado. A qualidade de uma lâmina pode ser avaliada pela uniformidade em espessura, rugosidade de sua superfície, presença ou não de fendas em ambas as faces, ondulações, nós, cor, entre outros (ARCHER, 1948).

A classificação de lâminas, especialmente daquelas destinadas à capa do compensado deve considerar inclusive a sua cor e desenho (SILVA, 1998). A seleção adequada das lâminas por classe de qualidade, ou seja, lâminas destinadas ao miolo e a capa dos compensados, é um fator relevante na fase de montagem tendo em vista que uma das classificações dos painéis compensados é obtida através da análise da qualidade das suas superfícies (PRATA, 2006).

A qualidade de um painel compensado pode ser avaliada através de suas propriedades físico-mecânicas. O conhecimento dessas propriedades consiste em informação importante para

os vários tipos de usos, além de que pode proporcionar melhorias no processo de produção.

Segundo Lutz (1971), citado por Lara Palma (1999), as propriedades físicas e mecânicas da madeira de maior interesse para a produção de lâminas e compensados são as seguintes: a massa específica, permeabilidade, contração, módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), cisalhamento longitudinal e perpendicular às fibras, tração perpendicular e dureza.

O conhecimento das propriedades de rigidez (MOE) e de resistência (MOR) da madeira compensada é indispensável para diversas soluções construtivas, a fim de permitir uma avaliação da capacidade destas estruturas no seu limite máximo (LARA PALMA, 1999).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de coleta do material

As árvores utilizadas no presente estudo foram cedidas pela empresa Pinus Brasil Agro Florestal LTDA e coletadas nos plantios da Fazenda Pedra Maria, localizada na região de Buri – SP (48° 26' 13,8"W - 23° 52' 07,5"S) a 660 metros de altitude. A implantação do talhão na qual se deu a seleção foi realizada em fevereiro de 2002, com um espaçamento de 3 x 3 m a partir de aproximadamente 1.111 mudas provenientes de sementes.

Antes da coleta do material, o plantio já havia passado por dois desbastes. O primeiro foi em 2006 com o corte de 166 árvores por hectare. O segundo desbaste ocorreu em 2009 com o corte de 236 árvores por hectare, com diâmetro a altura do peito (DAP) e altura médios de 23 cm e 14,1 m, respectivamente. Segundo os dados do inventário realizado em janeiro de 2009, fornecidos pela referida empresa, o incremento médio anual (IMA) foi de 52,84 m³/ha/ano.

O abate das árvores utilizadas no presente estudo foi realizado em outubro de 2009, sendo que, o corte raso das 704 árvores restantes do talhão encontrava-se previsto para ser realizado em 2012.

4.2 Coleta do Material

Na área caracterizada anteriormente, foram selecionadas cinco (05) árvores do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, com 7 anos e 10 meses de idade e diâmetro à altura do peito (DAP) de aproximadamente 30cm. Na seleção, foi dada preferência para árvores com tronco cilíndrico, reto, sem bifurcações ou outros defeitos visuais que poderiam incompatibilizar o material com o seu processamento.

As árvores selecionadas foram abatidas e a partir da base de cada uma delas retiradas uma tora de 2,50 metros. Em seguida, as toras foram transportadas para o Laboratório de Laminação e Painéis de Madeira – LLAPAM do Departamento de Ciências Florestais - LCF da ESALQ/USP, em Piracicaba – SP.

4.3 Preparo das toras para laminação

4.3.1 Armazenamento das Toras

O armazenamento foi feito em um tanque de acondicionamento nas dependências do LLAPAM com as toras totalmente submersas em água, evitando a perda de umidade e o ataque de fungos e xilófagos da madeira até o processamento.

Após o período de armazenamento, das toras de 2,50 metros de comprimento foram amostrados subsequentemente, a partir da base: um disco (I) com 5 cm de espessura; uma tora (A) de 1,10m de comprimento; um disco (II), uma tora (B) e um disco (III), conforme o ilustrado na Figura 2. Dessa forma, no total, foram amostradas 10 toras de 1,10m de comprimento e 15 discos de 5 cm de espessura. As toras foram destinadas à laminação em torno rotativo e os discos utilizados na determinação da densidade básica da madeira.

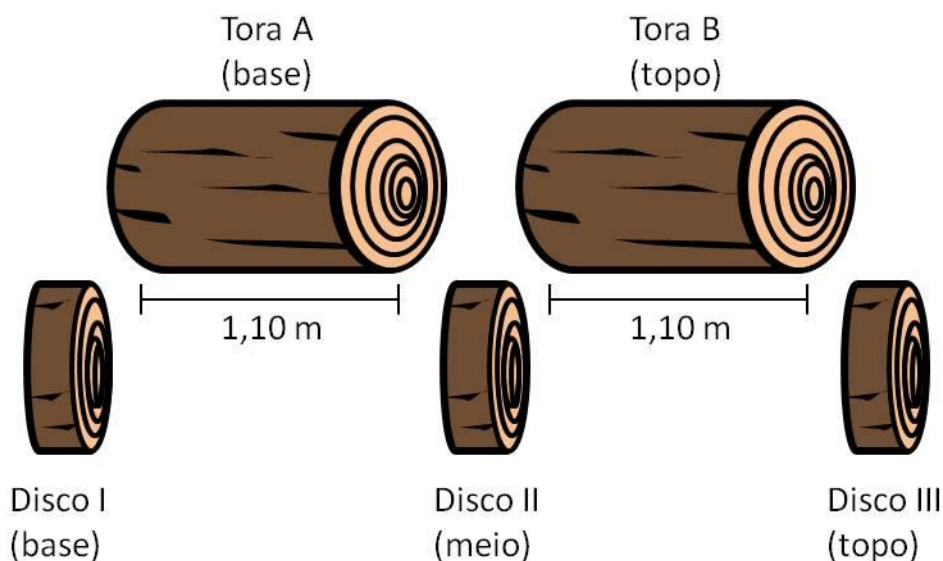


Figura 2 – Esquema de retirada das toras para a laminação e dos discos para a determinação da densidade básica da madeira

Para a determinação da densidade básica de cada disco (I, II e III), destes foram retiradas duas cunhas opostas pelos seus vértices com origem na medula. O volume das cunhas de madeira foi determinado pelo método de imersão em água e a massa seca foi obtida em balança

gravimétrica, após serem as cunhas submetidas à secagem em estufa ($103 \pm 2^\circ\text{C}$) e atingirem massa constante.

4.3.2 Aquecimento das Toras para Laminação

Essa operação foi efetuada no tanque de aquecimento do LLAPAM, dotado de um sistema aquecedor baseado em resistências elétricas com controle automático de temperatura. As toras, depois de descascadas, foram aquecidas em água com temperatura de aproximadamente 55°C por um período de 24 horas, conforme procedimento usual na indústria de laminação de Pinus, também adotado por Medina (1986) e Bortoletto Júnior (2006).

4.4 Produção de Lâminas

A produção de lâminas, após o aquecimento das toras, foi efetuada através do torno rotativo Thons e Benato, modelo LHT-14, pertencente ao LLAPAM.

Foram obtidas lâminas com espessura nominal de 2,00mm e a regulagem do torno foi a seguinte: a) ângulo de afiação da faca de $21^\circ 00'$; b) ângulo da faca variando automaticamente de $90^\circ 00'$ a $89^\circ 00'$; c) abertura horizontal de 1,80 mm; d) abertura vertical de 0,45 mm.

Durante o desenrolamento das toras, as lâminas foram enroladas em bobinas e em seguida guilhotinadas antes do seu resfriamento. As dimensões das lâminas guilhotinadas foram de 0,02 x 1,00 x 1,10 metros.

4.5 Determinação do Rendimento do Processo de Laminação

A determinação do rendimento da laminação foi baseada nos procedimentos adotados por Medina (1986), Almeida (2002) e Bortoletto Júnior (2006). Para efetuar os cálculos e proceder a tal determinação, foram realizadas medidas dos diâmetros das toras com casca e sem casca, das toras arredondadas e dos rolos-resto da laminação.

Os volumes das toras entre as diferentes operações foram calculados de acordo com as

fórmulas a seguir:

Volume da tora com casca (V1) e sem casca (V2):

$$V = (\pi / 8) \times (D_{maior}^2 + D_{menor}^2) \times L$$

Volume da tora arredondada (V3) e do rolo resto (V4):

$$V = (\pi / 4) \times D^2 \times L$$

Volume verde laminado (V5):

$$V = V_3 - V_4$$

Onde:

D = Diâmetro da tora (m);

L = Comprimento da tora (m);

V = Volume (m³).

O rendimento do processo de laminação foi calculado de acordo com as seguintes perdas:

Perda com o descascamento (%):

$$\frac{(V_1 - V_2) \times 100}{V_1} =$$

Perda com o arredondamento (%):

$$\frac{(V_2 - V_3) \times 100}{V_2} =$$

Perda com o rolo-resto (%):

$$\frac{(V_3 - V_5) \times 100}{V_2} =$$

Onde:

V_1 = Volume com casca (m^3);

V_2 = Volume sem casca (m^3);

V_3 = Volume arredondado (m^3);

V_4 = Volume do rolo resto (m^3);

V_5 = Volume verde laminado (m^3).

A perda total do processo de laminação foi obtida através da somatória das perdas resultantes do descascamento, arredondamento e rolo-resto. Por sua vez, o rendimento do processo de laminação foi obtido através da diferença entre 100% e a perda total.

4.6 Secagem e classificação das lâminas

Depois de guilhotinadas as lâminas foram colocadas sobre suportes de madeira para secagem natural, dispostas paralelamente ao plano horizontal, em local coberto, até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente (umidade entre 10 e 12%). A redução da umidade durante a secagem foi acompanhada através de medições periódicas em amostras de lâminas, utilizando-se medidor elétrico.

Após a secagem natural todas as lâminas obtidas foram classificadas, utilizando-se o método visual, segundo a presença de defeitos, em classes de qualidade decrescentes (A, B, C+, C e D), conforme o Programa Nacional de Qualidade da Madeira – Compensado de Pinus (ABIMCI, 2002). Posteriormente, as lâminas classificadas nas classes C e C+, foram redimensionadas numa serra circular, adquirindo dimensões de 0,02 x 0,49 x 0,52 metros, com a finalidade de ajustá-las ao tamanho dos pratos da prensa utilizada na etapa de produção dos compensados. Depois de redimensionadas as lâminas tiveram seu teor de umidade reduzido, para valores de 6 a 7%, através da secagem em uma estufa com renovação e circulação de ar por aproximadamente 2 horas a temperatura de $60 \pm 2^\circ\text{C}$.

4.7 Manufatura dos Compensados

Foram manufaturados compensados de cinco lâminas com dimensões nominais de 0,02 x 0,49 x 0,52m. As lâminas empregadas foram aquelas classificadas nas classes de qualidade C e C⁺ anteriormente referida. As lâminas C foram destinadas ao miolo e as lâminas C⁺ às capas do painel.

4.8 Processo de Colagem

Na produção dos compensados foi empregado o adesivo a base de fenol-formaldeído (FF), aplicado em face dupla e espalhado sobre as lâminas através de espátulas plásticas.

Conforme os dados do boletim técnico da resina fenólica (CR – 7010, SIGroup Crios) que foi utilizada no presente estudo, a gramatura de cola pode variar entre 340 e 450 gramas por m² de face dupla, dependendo de alguns fatores tais como espessura da lâmina, rugosidade e tipo de madeira. Baseado nos dados desse boletim, bem como em pré-ensaios realizados no LLAPAM, foram adotadas duas gramaturas de adesivo, quais sejam, 380 e 420 g/m², para a colagem dos painéis compensados. Portanto, a gramatura de adesivo foi um dos fatores a ser experimentado no presente estudo.

As características da resina FF utilizada na colagem dos painéis são apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Características da resina fenólica CR - 7010

Teor de Sólidos (105°C)	51,24%
pH (25°C)	11,89
Tempo de gel (121°C)	8,41 minutos
Viscosidade (25°C)	547 cP

Fonte: Certificado de Análise da Resina CR – 7010, SI Group Crios

A formulação do adesivo utilizado na colagem dos compensados produzidos no presente estudo, em partes por peso, foi a seguinte: 100 partes de resina FF, 5 partes de casca de coco em pó, 10 partes de farinha de trigo e 8 partes de água. O preparo do adesivo foi efetuado através da

mistura simples da resina e dos demais componentes, numa batedeira planetária disponível no LLAPAM. Após a mistura dos componentes, o tempo de escoamento do adesivo foi determinado através de um Copo Ford nº 8. O tempo médio de escoamento do adesivo preparado foi de 60 segundos.

Após a encolagem e a montagem, blocos de cimento foram distribuídos sobre a superfície dos painéis e foram deixados por aproximadamente 15 minutos a fim de melhorar o contato entre as lâminas e a penetração do adesivo na madeira.

4.9 Condições de Prensagem

O equipamento utilizado para prensagem dos painéis compensados foi uma prensa hidráulica motorizada disponível no LLAPAM, de vão simples, com dimensões dos pratos de 600 x 600 mm, dotada de controles automáticos de temperatura, pressão e tempo.

O ciclo de prensagem utilizado na produção dos compensados foi o seguinte: pressão específica de 8 kgf/cm², temperatura de 150°C e dois tempos de prensagem de 8 e 12 minutos, sendo que foram acrescidos 40 segundos para fechar e 40 segundos para abrir a prensa. Portanto, o tempo de prensagem foi outro fator a ser experimentado no presente estudo.

Depois de retirados da prensa quente, verificou-se que os painéis produzidos empenaram. De acordo com Iwakiri (2005), após serem retirados da prensa quente, os painéis se encontram em condições instáveis devido ao gradiente de umidade e temperatura que se forma por ocasião da prensagem. O teor de umidade da superfície será menor em relação ao centro, ocorrendo o contrário com a temperatura, podendo isso causar o empenamento do painel compensado.

Além do referido gradiente, também é possível supor que a presença de madeira juvenil e de madeira de compressão podem ter contribuído para o empenamento dos painéis, uma vez que estes tipos de madeira resultam em contração e inchamento anormais.

Considerando que poderia ter sido o gradiente de umidade e de temperatura entre a face e o miolo do painel a principal causa dos empenamentos verificados, para solucionar o problema, após a retirada dos painéis da prensa quente procedeu-se a atomização de água nas faces dos compensados (20 mL em cada face), conforme ilustrado na Figura 3A, e em seguida uma pós-prensagem a frio em prensa hidráulica (Figura 3B), visando proporcionar o equilíbrio das tensões

geradas pelo gradiente e recuperar a forma plana do painel através de restrição mecânica. Registra-se que o procedimento adotado teve êxito. Desta forma, depois do procedimento descrito os painéis compensados foram encaminhados para uma sala de climatização (temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$) do Laboratório de Ensaios Mecânicos de Madeira e Derivados – LEMMAD do LCF da ESALQ/USP, onde permaneceram empilhados, separados por tabiques de madeira (Figura 3C), até atingirem massa constante.

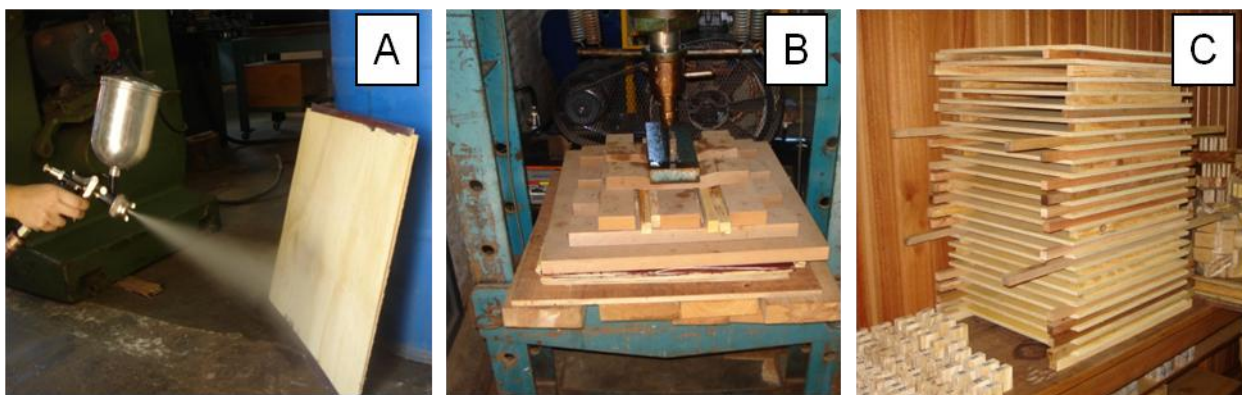


Figura 3 – A) Atomização de água nas faces B) Pós-prensagem a frio C) Climatização dos painéis

4.10 Retirada dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos previstos

Depois do período de climatização, os painéis foram esquadrejados numa serra circular esquadrejadeira nas dimensões aproximadas de 0,48 x 0,48 metros e então retirados os corpos-de-prova, destinados aos ensaios físicos e mecânicos, conforme o esquema apresentado na Figura 6. O número de corpos-de-prova obtido por chapa, as propriedades que foram determinadas, os ensaios físicos e mecânicos que foram efetuados, bem como as normas empregadas no desenvolvimento dos mesmos encontram-se na Tabela 2.

Na Figura 4A indicam-se os corpos-de-prova de cisalhamento (demarcados em linha pontilhada na Figura 6) que foram obtidos para serem ensaiados conforme a Norma Brasileira NBR 9534 (ABNT, 1986c), porém, os mesmos não foram utilizados nos ensaios definitivos para determinação da resistência da colagem. Através de pré-ensaios utilizando estes corpos-de-prova

verificou-se que a ruptura ocorria invariavelmente na madeira, na região da base dos sulcos dos corpos-de-prova, portanto, fora da linha de colagem, conforme ilustra a Figura 4B.

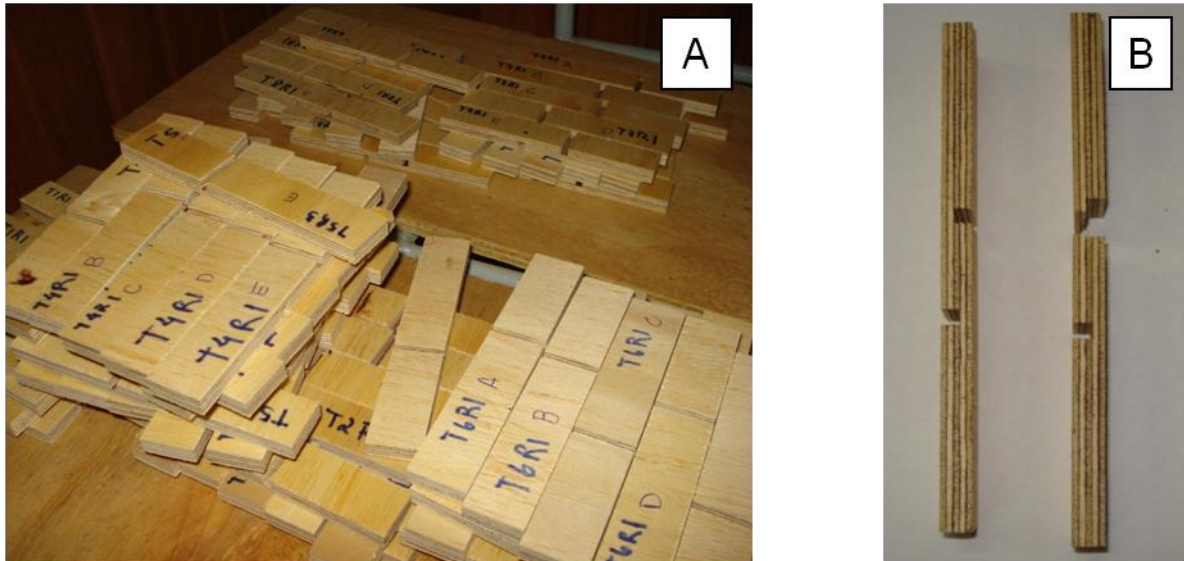


Figura 4 – A) Corpos-de-prova para o ensaio de resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento B) Corpo-de-prova antes e depois do ensaio, mostrando a ruptura na base do sulco, fora da linha de colagem

Esse fato decorreu da baixa resistência da madeira e não é incomum neste caso. Para contornar este problema, diversas adaptações e tentativas foram realizadas para se obter a resistência da linha de colagem através do esforço de cisalhamento, porém, não resultaram exitosas.

A alternativa encontrada para avaliar a qualidade da colagem dos painéis deu-se através de ensaios de resistência da linha de colagem ao esforço de tração perpendicular, não previstos em normas para compensados, portanto, adaptados. Para tanto, novos corpos-de-prova foram obtidos, com dimensões de 5 x 5cm, a partir das sobras dos corpos-de-prova de flexão estática depois de ensaiados.

Para a realização do ensaio de resistência da linha de colagem à tração perpendicular, os corpos-de-prova de compensado com dimensões de 5 x 5 cm foram colados com adesivo epóxi (Araldite) entre suportes de madeira, sendo que a lamina da capa do compensado foi colada em sentido paralelo a grã do bloco de madeira. O ensaio foi realizado de acordo com os

procedimentos adotados para ensaio de tração perpendicular da ASTM D1037 (2002), conforme ilustra a Figura 5.

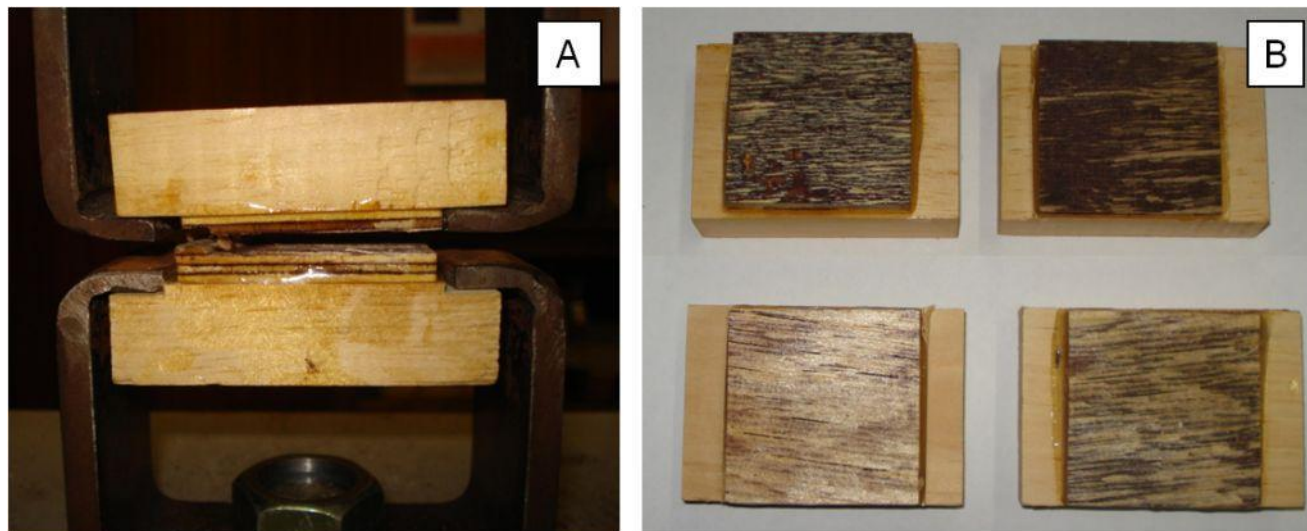


Figura 5 – A) Ensaio de tração perpendicular B) Corpos-de-prova ensaiados

Após os ensaios, a porcentagem de falha na madeira dos corpos-de-prova foi avaliada com base nos procedimentos da Norma Brasileira NBR ISO 12466-1 (ABNT, 1999).

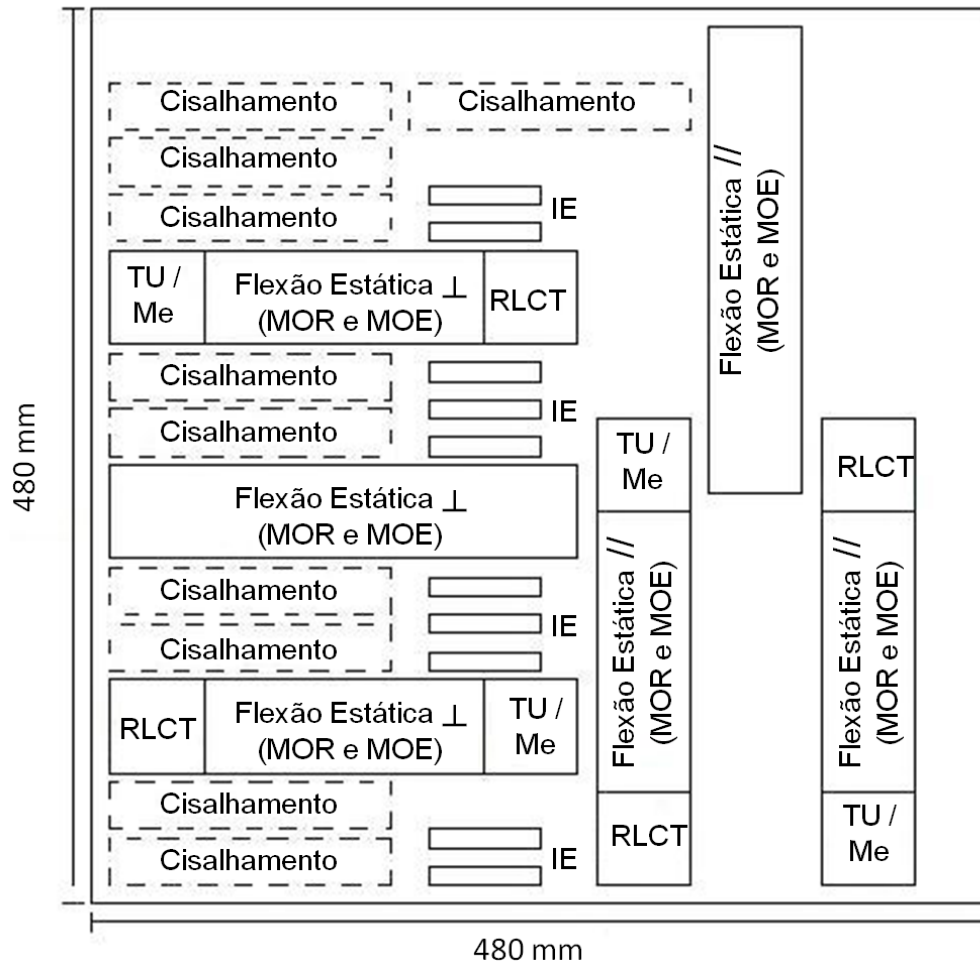


Figura 6 – Esquema de retirada dos corpos-de-prova dos painéis compensados para os ensaios físicos e mecânicos. TU = teor de umidade; Me = massa específica; IE = inchamento e recuperação em espessura; RLCT = resistência da linha de colagem à tração perpendicular; MOR = módulo de ruptura; MOE = Módulo de elasticidade

Tabela 2 – Ensaio físicos e mecânicos do compensado e normas adotadas

Ensaio	Propriedades	Número de corpos de prova	Normas	
Massa Específica	Massa Específica Aparente	4	NBR 9485/86b	
Teor de Umidade	-----	4	NBR 9484/86e	
Inchamento em espessura	Inchamento e recuperação em espessura	10	NBR 9535/86d	
Flexão Estática	Paralela*	MOR e MOE	3	EN
	Perpendicular	MOR e MOE	3	310/93
Tração perpendicular	Resistência da linha de colagem ao esforço de tração perpendicular	4	-----	

* Direção das fibras das lâminas das capas paralela ao vão ou ao comprimento do corpo-de-prova

Depois de obtidos, todos os corpos-de-prova permaneceram no LEMMAD, condicionados à temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$, local onde foram realizados os ensaios previstos.

4.11 Delineamento Experimental e análise estatística dos dados dos ensaios

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial para os tratamentos. Foram analisados 3 fatores, cada qual em 2 níveis: posição da tora no tronco (A e B), gramatura de adesivo (380 e 420 g/m²) e tempo de prensagem (8 e 12 minutos). Portanto, foram 8 tratamentos (Tabela 3), para os quais foram realizadas 3 repetições, resultando em 24 painéis compensados produzidos.

Tabela 3 – Tratamentos realizados na manufatura dos painéis compensados

Tratamento	Posição da Tora	Gramatura de Adesivo (g/m ²)	Tempo de Prensagem (minutos)
T 1	A	380	8
T 2		420	8
T 3		380	12
T 4		420	12
T 5	B	380	8
T 6		420	8
T 7		380	12
T 8		420	12

Para verificar o efeito dos tratamentos sobre as propriedades dos painéis produzidos, foi realizada uma análise de variância e, posteriormente, aplicado o teste de médias de *Tukey*, conduzido a um nível de 5% de probabilidade de erro, para identificar as médias que diferiram entre si.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade básica da madeira

Os valores médios de densidade básica e teor de umidade da madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios de densidade básica e teor de umidade da madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Posição do Disco	Densidade Básica ¹ (g/cm ³)	Teor de umidade da Madeira ² (%)
Base	0,339 b	209,1
Meio	0,313 a	229,1
Topo	0,310 a	235,3
Média	0,320	224,5
CV (%)	4,67	6,45

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). 1 – Massa obtida a 0% de umidade e o volume da madeira totalmente saturada em água; 2 – Teor de umidade da madeira totalmente saturada em água

Observa-se na Tabela 4 que a densidade básica média da madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foi de 0,320 g/cm³.

Segundo Lutz (1978) espécies de madeira consideradas adequadas para laminação possuem densidade básica variando entre 0,40 e 0,70 g/cm³ e de acordo com Walker (1993) esse valor pode variar entre 0,38 e 0,70 g/cm³. Observa-se que o valor médio de densidade básica da madeira do presente estudo está um pouco abaixo da faixa sugerida por ambos os autores, no entanto, de acordo com Bortoletto Júnior (2003), estes valores constituem um parâmetro mais apropriado para inferir sobre a facilidade em laminar uma determinada espécie de madeira, não se traduzindo como uma restrição à laminação de madeiras de baixa densidade ou alta densidade.

Conforme classificação proposta por Melo et al. (1991), citados por Souza et al. (2002), madeiras com densidade menor que 0,5 g/cm³, são consideradas como “madeira leve”. Sendo assim, segundo essa classificação, a madeira das árvores do híbrido de *Pinus* estudado pode ser considerada de baixa densidade ou trata-se de madeira leve.

De acordo com a literatura, a maioria das espécies do gênero *Pinus* apresenta baixa densidade, ou madeira leve, como pode ser observado na Tabela 5:

Tabela 5 – Densidades básicas para algumas espécies de *Pinus* observadas na literatura

Autores	Espécie	Idade (anos)	Densidade Básica (g/cm ³)
Bortoletto Júnior (2008b)	<i>P. merkusii</i>	26	0,44
Marchesan, Mattos e Rosot (2007)	<i>P. palustris</i>	28	0,49
	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	10	0,43
Iwakiri et al. (2001)	<i>P. chiapensis</i>	10	0,42
	<i>P. maximinoi</i>	10	0,48
	<i>P. oocarpa</i>	10	0,50
	<i>P. tecunumanii</i>	10	0,49
	<i>P. taeda</i>	10	0,44
	<i>P. caribaea</i> var. <i>bahamensis</i>	-	0,35 a 0,50
Carpanezzi et al. (1986)	<i>P. caribaea</i> var. <i>caribaea</i>	-	0,35 a 0,50
	<i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	-	0,35 a 0,50
	<i>P. oocarpa</i>	-	0,45 a 0,60
	<i>P. pátula</i>	-	0,38 a 0,50
	<i>P. taeda</i>	-	0,47 a 0,51

A Tabela 5 mostra que a madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou valor de densidade básica um pouco inferior aos valores encontrados na literatura para várias espécies de *Pinus*, no entanto, deve-se considerar que a madeira do híbrido possuía apenas 7 anos e 10 meses de idade, ou seja, os valores inferiores de densidade básica da madeira podem estar relacionados com a maior proporção de madeira juvenil que geralmente ocorre em árvores jovens. Além disso, deve-se considerar o elevado incremento médio anual do híbrido, o qual foi relativamente superior ao encontrado para plantios de *Pinus elliottii* utilizados como testemunha, conforme os dados da empresa Pinus Brasil apresentados anteriormente. Rezende et al. (2008) avaliaram a produtividade e densidade da madeira do híbrido *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanii* em comparação com um seminal de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e concluíram que o híbrido teve produtividade em volume de

até 23% maior que o tratamento seminal, entretanto, houve diminuição de aproximadamente 10% na densidade da madeira.

Apesar da madeira do híbrido do presente estudo ter apresentado densidade básica um pouco inferior em relação às outras espécies de *Pinus* encontradas na literatura, algumas espécies de folhosas, tais como Guapuruvu (*Schizolobium parayba*) e Paricá (*Schizolobium amazonicum*) apresentam valores médios de densidade semelhantes àquele e possuem potencial para a produção de lâminas e compensados. Bortoletto Júnior e Belini (2002) avaliaram o potencial da madeira de Guapuruvu (*Schizolobium parayba*) para produção de lâminas e compensados e encontraram bons resultados indicando a possibilidade de utilização em móveis, embalagens e caixotaria, sendo a densidade básica média da madeira de 0,390 g/cm³, aos 16 anos de idade. Almeida (2009) avaliando o efeito da adição de carga e extensor nas propriedades físicas e mecânicas de compensados de Paricá, encontrou para a madeira, aos 7 anos de idade, densidade básica média de 0,280g/cm³.

Em relação às espécies parentais do híbrido em estudo, registra-se que Iwakiri et al. (2001) encontraram para a madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* densidade básica de 0,43 g/cm³ aos 10 anos de idade, e Carpanezzi et al. (1986) citam para a mesma madeira valores variando entre 0,35 a 0,50 g/cm³. De acordo com Carpanezzi et al. (1986) a madeira do *Pinus elliottii* var. *elliottii*, em idades mais avançadas, possui densidade básica variando entre 0,50 e 0,56 g/cm³. Com base nestes dados de literatura, observa-se que o valor médio de densidade básica da madeira do híbrido estudado foi mais próximo ao da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis*.

Harding e Copley (2000), fizeram um levantamento dos principais estudos realizados, desde 1971, sobre as propriedades da madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliotti* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* F1 e seus parentais, com idades variando entre 13 e 32 anos. Os autores observaram que, de modo geral, a madeira do híbrido F1 apresentou valores médios intermediários de densidade básica (405 a 508 kg/m³) em relação aos parentais. A densidade da madeira do *P. elliottii* foi superior (421 a 530 kg/m³), enquanto que a madeira do *P. caribaea* apresentou densidade inferior (420 a 487 kg/m³).

A madeira utilizada no presente estudo corresponde ao híbrido F2, no entanto, segundo Nikles (2000) as madeiras dos híbridos F1 e F2 apresentam características similares, sendo que

de acordo com Harding e Copley (2000), os valores médios encontrados de densidade básica foram de 432 kg/m² para o híbrido F2 e de 430 kg/m² para o F1.

Considerando a posição de retirada dos discos (base, meio e topo), observa-se que a densidade da madeira do híbrido do presente estudo decresceu da base para o topo, ocorrendo o contrário com o teor de umidade, cujas tendências, podem-se dizer, são condizentes com o que dispõe a literatura. A madeira da base das toras apresentou valor médio de densidade básica estatisticamente diferente e superior ao das demais posições, as quais, por sua vez, mostraram valores equivalentes.

Para espécies do gênero *Pinus*, a redução da densidade com o aumento da altura de amostragem é esperada e decorre do efeito da idade, pois, a maiores alturas há menor número de anéis de crescimento e maior proporção de lenho juvenil (MUÑIZ, 1993). Conforme Tsoumis (1991), quanto maior for a densidade, menor será o teor de umidade que a madeira poderá conter na saturação, devido à menor proporção relativa de espaços vazios disponíveis.

5.2 Rendimento do processo de laminação

A Tabela 6 apresenta os diâmetros médios das toras com e sem casca, arredondadas e dos rolos-resto obtidos das toras da base (A) e das toras do topo (B) que foram destinadas à laminação.

Tabela 6 - Diâmetros médios das toras com e sem casca, arredondadas e rolos-resto

Tora	Diâmetro (cm)				Arredondado	Rolo-resto
	Maior		Menor			
	C/ casca	S/ casca	C/ casca	S/ casca		
A	33,1	29,0	30,4	26,3	22,7	10,3
B	29,9	26,1	27,8	24,4	20,8	10,2

A Tabela 7 apresenta os valores médios dos volumes das toras da base e do topo com casca, sem casca, arredondadas, dos rolos-resto e o volume verde laminado. Esses volumes foram obtidos a partir dos diâmetros das toras, considerando seus comprimentos de 1,0m.

Tabela 7 - Volumes médios das toras obtidos nas diferentes etapas da laminação

Tora	Volume (m ³)				
	Com casca	Sem casca	Arredondada	Rolo Resto	Verde Laminado
A	0,0794	0,0602	0,0407	0,0083	0,0324
B	0,0656	0,0502	0,0342	0,0081	0,0260

A Tabela 8 apresenta as perdas médias geradas pelo processo de laminação com o descascamento, arredondamento, rolo-resto e a perda total, bem como o rendimento final do processo de laminação e o fator de forma das toras.

Tabela 8 – Perdas geradas nas diferentes etapas da laminação, rendimento final do processo e fator de forma médio das toras

Tora	Perdas (%)				Rendimento (%)		Fator de Forma
	Desc.*	Arred.**	Rolo-resto	Total	C/ casca	S/ casca	
A	24,11	32,32	13,84	70,27	29,73	53,83	0,92
B	23,46	31,96	16,39	71,81	28,19	51,66	0,93
Média	23,78	32,14	15,11	71,04	28,96	52,74	0,925

*Desc. = Descascamento; **Arred. = Arredondamento

Pode-se observar através dos dados da Tabela 8 que de modo geral a maior perda média do processo de laminação ocorreu na etapa de arredondamento (32,14%), seguida pelo descascamento (23,78%) e pelo rolo-resto (15,11%).

A perda com o arredondamento foi ligeiramente maior para as toras A (base), cujo fator de forma foi ligeiramente inferior, em relação às toras B (topo). Isso significa que a diferença entre as perdas pode ter sido causada pela maior conicidade das toras da base.

A perda por arredondamento encontrado por Bortoletto Júnior (2008a), laminando madeira de *Pinus merkusii*, aos 26 anos de idade, foi de 26,0% para as toras retiradas mais próximas da base da árvore e de 15,1% para as toras subsequentes. O autor justificou a diferença entre as perdas em função da conicidade mais acentuada das toras quanto mais próximas da base.

A perda média devida ao arredondamento das toras determinada no presente estudo foi

compatível com as encontradas nos trabalhos de Medina (1986), laminando toras de *Pinus elliottii* aos 20 anos de idade, e de Jankowsky (1978), laminando toras de *Pinus strobus* aos 12 anos de idade, cujas perdas foram de 29,9% e 32,0%, respectivamente, revelando que o fator de forma das toras empregadas nestes estudos teriam sido semelhantes.

Observa-se na Tabela 8 que a perda média geral devido ao descascamento (23,78%) pode ser considerada relativamente alta, quando comparada com certas espécies de *Pinus*, por exemplo, *Pinus elliottii* (9,18%) e *Pinus merkusii* (13,6%), conforme será visto a seguir, e revela que o híbrido em estudo, na idade em que foi coletado, apresenta um teor de casca relativamente elevado. A perda média com o descascamento das toras A apresentou um valor médio ligeiramente maior em relação às toras B, indicando que o teor de casca presente nas partes mais próximas da base da árvore foi ligeiramente maior.

Medina (1986) encontrou para o *Pinus elliottii* uma perda de descascamento média de 9,18% e Bortoletto Júnior (2008a) de 13,6% para o *Pinus merkusii*.

Conforme Tsoumis (1991), a participação da casca no volume total de uma árvore pode ser consideravelmente diferente, dependendo da espécie, da idade, das dimensões e de outros fatores. Couto e Brito (1982), através de um levantamento realizado em povoamentos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* plantados no Recôncavo Baiano, observaram que o teor de casca tendeu a reduzir com o aumento da idade de 5 para 8 anos, sendo que o percentual de casca médio das árvores foi de 29,49% e 27,37%, respectivamente. O teor de casca encontrado por esses autores para a referida espécie, especialmente na idade de 8 anos, é compatível com o teor de casca do híbrido do presente estudo.

Conforme visto anteriormente, a perda média geral com o rolo-resto (15,11%) foi a menor dentre as demais. As toras B apresentaram perda média com o rolo-resto (16,39%) pouco superior em relação às toras A (13,84%). Este fato deve-se ao menor diâmetro médio inicial das toras B em relação às toras da base (A), uma vez que o diâmetro médio dos rolos-resto das toras das duas posições foi praticamente o mesmo, ou seja, 10,2 e 10,3 cm, respectivamente. Esses diâmetros de rolos-resto comparados ao diâmetro mínimo de rolo-resto de 10,0 cm, o qual corresponde ao limite do torno laminador utilizado, indicam que o processo de laminação das toras ocorreu sem problemas. De fato, não houve patinação das garras fixadas nos topos das toras e a laminação prosseguiu até muito próxima do limite do equipamento.

A perda média com o rolo-resto registrada no presente estudo foi superior à encontrada por Bortoletto Júnior (2008a), a qual foi de 7,65%, laminando toras de *Pinus merkusii*. Embora o diâmetro médio dos rolos-resto do estudo desse autor também tenha se aproximado de 10,0 cm, o diâmetro médio inicial das toras empregadas foi superior ao do presente estudo, fato que explica a menor perda percentual com o rolo-resto.

Medina (1986) encontrou uma perda média de 18,5% com o rolo-resto laminando toras de *Pinus elliottii* e Jankowsky (1978), avaliando a madeira de *Pinus strobus* para laminação, encontrou uma perda média de 13,6% com o rolo-resto. Nota-se que a perda geral média com o rolo-resto (15,11%) obtida no presente estudo foi intermediária em relação às obtidas no estudo desses dois autores.

O rendimento geral médio do processo de laminação das toras do híbrido, sem casca, foi de 52,74% e pode ser considerado bom. Esse valor é compatível com os rendimentos de laminação obtidos por Chong (1977) e Jankowsky (1978), os quais foram, respectivamente, 55,5% para madeira de *Pinus elliottii* e 54,4% para madeira de *Pinus strobus*, ambos baseados no volume inicial das toras sem casca.

Considerando o volume inicial das toras com casca (cujo teor foi elevado, conforme visto anteriormente), o rendimento geral médio do processo de laminação do híbrido foi de 28,96% e pode ser considerado relativamente baixo. Esse valor é inferior quando comparado aos rendimentos encontrados por Bortoletto Júnior (2008a), Bonduelle et al. (2006), Brand e Muñiz (2003) e Medina (1986), os quais foram, respectivamente, 54,4% para madeira de *Pinus merkusii*, 47,96% para madeira de *Pinus spp*, 46,52% para madeira de *Pinus taeda* e 33,7% para madeira de *Pinus elliottii*, todos baseados em toras com casca. Provavelmente, o fator que mais contribuiu para a diferença entre os rendimentos de laminação do híbrido e das madeiras dos demais estudos citados foi o elevado teor de casca do híbrido. Considerando que a casca obviamente não pode ser convertida em lâminas de madeira, o baixo rendimento de laminação da madeira do híbrido calculado com a casca inclusa é de importância secundária.

5.3 Classificação das lâminas

Os resultados da classificação das lâminas obtidas podem ser observados na Tabela 9. Os valores estão expressos em números de lâminas com os respectivos valores de percentagem, entre parênteses, os quais foram obtidos através da relação entre o número de lâminas de cada classe e o número total de lâminas de cada uma das toras (A e B).

Tabela 9 – Classificação de lâminas geradas a partir de duas posições da tora (A e B) da madeira do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Classes	Lâminas da Tora A	Lâminas da Tora B	Total de Lâminas Tora A + Tora B
A	-	-	-
B	-	-	-
C+	13 (18,31%)	11 (18,64%)	24 (18,46%)
C	23 (32,39%)	32 (54,24%)	55 (42,31%)
D	35 (49,30%)	16 (27,12%)	51 (39,23%)
Total	71 (100%)	59 (100%)	130 (100%)

De acordo com os dados da Tabela 9, nota-se que as toras A geraram maior percentagem de lâminas na classe de qualidade D (49,30%) e em seguida nas classes de qualidade C (32,39%) e C+ (18,31%); já as toras B apresentaram maior número de lâminas na classe C (54,24%) e em seguida nas classes D (27,12%) e C+ (18,64%). Esses resultados demonstram que apesar das toras do topo (B) terem apresentado um rendimento de laminação ligeiramente inferior, as lâminas geradas foram de melhor qualidade em relação às obtidas a partir das toras da base (A).

Considerando o total de lâminas geradas pelas toras A e B, observa-se que houve maior proporção de lâminas classificadas na classe C (42,31%). Os percentuais totais de lâminas das classes C e C+ somados perfizeram 60,77%. Esse resultado pode ser considerado razoável, pois as lâminas foram obtidas de toras provenientes de árvores não desramadas. Caso a operação de desrama tivesse sido efetuada, a presença de nós teria sido reduzida e, isso, certamente, minimizaria o percentual de lâminas da classe D e aumentaria o rendimento em lâminas das classes de melhor qualidade.

Medina (1986), utilizando a norma americana PS1-74, classificou lâminas de *Pinus elliottii*, obtidas de árvores não desramadas, e encontrou maior concentração de lâminas na classe C, representando 61% do total avaliado.

5.4 Massa específica aparente dos painéis compensados

Os valores médios de massa específica aparente e do teor de umidade dos painéis compensados, para cada tratamento, encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores médios de massa específica aparente e teor de umidade dos compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Tratamentos	Massa específica aparente	Teor de Umidade
	(g/cm ³)	(%)
1	0,422	9,59
2	0,425	9,65
3	0,437	9,65
4	0,415	9,53
5	0,403	9,75
6	0,410	9,75
7	0,394	9,84
8	0,396	9,76
Média	0,413	9,69
CV (%)	3,64	1,17

De acordo com os dados da Tabela 10 os painéis apresentaram massa específica aparente média igual a 0,413 g/cm³. Conforme o Catálogo Técnico nº1 do Programa Nacional de Qualidade da Madeira - Compensado de Pinus (ABIMCI, 2002), os valores de massa específica média de compensados de *Pinus* spp, variaram entre 0,491 e 0,614g/cm³. Os valores desse Catálogo referem-se a ensaios de mais de 20.000 corpos-de-prova, obtidos de compensados fenólicos não lixados, manufaturados com lâminas do tipo C⁺ nas faces e C no miolo, com 5 a 9 camadas, espessuras nominais de 9 a 20mm e umidade entre 10 e 11%, coletados em 18 empresas participantes do referido Programa.

Observa-se que os valores de massa específica aparente dos painéis compensados do presente estudo (Tabela 10) ficaram abaixo dos encontrados no citado Catálogo nº1, embora seus teores de umidade médios tenham sido compatíveis. Esse resultado, provavelmente, está relacionado com a densidade da madeira do híbrido, também relativamente baixa quando comparada com a de outras espécies de *Pinus*, especialmente devida à sua tenra idade.

De acordo com a análise de variância efetuada para a variável massa específica aparente (ANEXO B, Tabela 27), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator posição da tora, mas não houve diferença para os fatores gramatura e tempo de prensagem. Segundo a mesma análise de variância, não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

O resultado do teste de médias de *Tukey*, realizado para a variável massa específica aparente do fator posição da tora, encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11 – Teste de médias para a variável massa específica aparente do fator posição da tora

Posição da Tora	Massa específica aparente
	(g/cm ³)
A	0,425 A
B	0,401 B

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ($\alpha = 0,05$)

Observa-se pela Tabela 11 que os painéis manufacturados com lâminas obtidas a partir das toras da posição A (base) apresentaram valor médio de massa específica aparente estatisticamente superior em relação às toras da posição B. Esse resultado é coerente com o observado para a densidade básica da madeira, para qual se verificou redução com o aumento da altura de amostragem do fuste, fato decorrente do efeito da idade, pois, como visto anteriormente, a maiores alturas há menor número de anéis de crescimento e maior proporção de lenho juvenil.

5.5 Inchamento e recuperação em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura (IE) e de recuperação da espessura (RE) dos painéis compensados estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores médios de inchamento em espessura e recuperação da espessura dos painéis compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Tratamentos	Inchamento em espessura	Recuperação da
	(IE)	Espessura
	(%)	
	(RE)	
1	4,22	0,56
2	4,50	0,71
3	4,51	0,78
4	4,15	0,53
5	4,51	0,47
6	4,71	0,70
7	3,95	0,72
8	4,01	0,85
Media	4,32	0,66
CV (%)	8,79	32,09

De acordo com os dados da Tabela 12 pode-se notar que os valores médios de IE e RE dos painéis compensados do híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* foram relativamente baixos quando comparados com a maioria dos valores encontrados por Iwakiri et al. (2001), para compensados fenólicos, compostos por cinco lâminas, produzidos com madeira de cinco espécies de *Pinus*, apresentados na Tabela 13. Isso significa que o compensado do híbrido apresentou melhor estabilidade dimensional relativa; fato positivo e que merece destaque. A média geral do IE e da RE dos compensados do híbrido, respectivamente, 4,32% e 0,66%, mostrou-se compatível com os valores médios destas propriedades do compensado de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* estudado por Iwakiri et al. (2001).

Tabela 13 – Valores médios de inchamento em espessura e recuperação da espessura de painéis compensados produzidos com cinco espécies de Pinus

Espécies (densidade da madeira)	Inchamento em espessura	Recuperação da espessura
	(IE)	(RE)
	(%)	
<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> (0,43g/cm ³)	4,85	0,79
<i>Pinus chiapensis</i> (0,42g/cm ³)	5,15	0,86
<i>Pinus maximinoi</i> (0,48g/cm ³)	6,56	1,24
<i>Pinus oocarpa</i> (0,50g/cm ³)	6,71	1,58
<i>Pinus tecunumannii</i> (0,44g/cm ³)	6,49	2,17

Fonte: Iwakiri et al. (2001)

Observa-se pela Tabela 13 que, de modo geral, as espécies de Pinus que apresentaram maiores valores de IE e RE são as que apresentaram maiores valores médios de densidade da madeira. Segundo Galvão e Jankowsky (1985), existe uma relação direta entre a variação volumétrica e a densidade, sendo que essa variação dimensional é normalmente maior na madeira de maior densidade devido à maior quantidade de madeira por unidade de volume. Portanto, o baixo valor de IE encontrado para o híbrido de Pinus do presente estudo pode estar relacionado à baixa densidade de sua madeira.

De acordo com a análise de variância efetuada para as variáveis IE e RE, (ANEXO C, Tabelas 28 e 29, respectivamente), verificou-se que somente para a variável IE houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator tempo de prensagem, mas não houve diferença para os fatores gramatura e posição da tora. Segundo a mesma análise de variância, não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos.

O resultado do teste de médias de *Tukey*, realizado para a variável IE do fator tempo de prensagem, encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14 – Teste de médias para a variável inchamento em espessura do fator tempo de prensagem

Tempo (minutos)	Inchamento em Espessura (%)
8	4,49 A
12	4,16 B

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$)

Os dados da Tabela 14 mostram que o tempo de prensagem de 12 minutos para a produção dos painéis compensados do híbrido resultou em diminuição estatisticamente significativa do IE. Supõe-se que o tempo de 8 minutos pode não ter sido suficiente para que a temperatura dos pratos da prensa atingisse as camadas mais internas do painel durante a prensagem, proporcionando a formação de uma linha de cola com grau de cura relativamente inferior (sub-curada) e, por consequência disso, de menor resistência. Podem reforçar tal suposição os resultados das resistências da linha de colagem apresentados na Tabela 17, especialmente no caso dos compensados produzidos com lâminas obtidas das toras B, bem como na Tabela 18, especialmente no caso dos compensados produzidos com gramatura de cola de 420 g/cm². De outro lado, o prolongamento do tempo de prensagem para 12 minutos, além de ter proporcionado o alcance da temperatura ideal de cura do adesivo nas camadas mais internas do painel tornando a colagem relativamente mais resistente nestas regiões, adicionalmente pode ter atuado sobre a viscosidade do adesivo, reduzindo-a de modo a facilitar a sua penetração na estrutura celular da madeira, ancorando a linha de cola a maior profundidade, preenchendo maior volume interno e minimizando a magnitude das tensões de prensagem que teriam sido liberadas quando o painel entrou em contato com a água, resultando na redução do inchamento em espessura.

Apesar da diferença estatisticamente significativa entre os valores de inchamento em espessura dos painéis, observa-se que os mesmos valores foram muito próximos entre si (a diferença foi de apenas 7% entre as médias), bem como ambos os valores foram relativamente baixos quando comparados com os de compensados de outras espécies de Pinus, conforme já visto anteriormente. Sendo assim, sob o ponto de vista prático, considera-se que não haveria impacto significativo sobre o inchamento em espessura com a adoção do tempo de prensagem de

8 minutos, a não ser sobre a produtividade dos compensados, a qual aumentaria significativamente em relação ao tempo de 12 minutos e seria muito conveniente quando se pensa em escala industrial.

Os resultados do inchamento em espessura do presente estudo divergem dos encontrados por Medina (1986), o qual, estudando compensados de *Pinus elliotii* produzidos com resina fenólica, encontrou maior valor médio de inchamento para o maior tempo de prensagem experimentado. Conforme o autor, o resultado encontrado no seu estudo pode ter sido ocasionado pela liberação das tensões originadas durante a prensagem, as quais supostamente teriam sido majoradas com o prolongamento do tempo de prensagem, resultando em maior inchamento. Registra-se que a pressão utilizada para a confecção dos painéis do estudo de Medina (1986) foi de 10 kgf/cm², portanto, maior do que a utilizada no presente estudo (8 kgf/cm²).

De outro lado, segundo Kollmann et al. (1975), baseado em resultados de pesquisas efetuadas no Laboratório de Produtos Florestais dos EUA, o aumento do tempo de prensagem reduz a capacidade de sorção de água e conseqüentemente diminui o inchamento de painéis compensados. Nesses estudos, os autores relatam que a influência do tempo de prensagem nas propriedades de inchamento dos compensados é grande até a temperatura de prensagem de 157°C, sendo que acima dessa temperatura a influência do tempo pode ser desprezada. A explicação dada pelos autores é que o maior tempo de prensagem proporciona um ganho na qualidade da colagem, fazendo com que o painel resista mais eficientemente à liberação das tensões de compressão geradas na prensagem dos painéis, restringindo assim o inchamento em espessura.

5.6 Resistência da linha de cola ao esforço de tração perpendicular

Os valores médios de resistência da linha de cola ao esforço de tração perpendicular (RLCT) e de falha na madeira estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores médios de resistência da linha de cola e falha na madeira a tração perpendicular dos painéis compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Tratamento	Avaliação da linha de cola	
	Tensão de ruptura (MPa)	Falha da madeira (%)
1	1,30	51
2	1,32	55
3	1,22	63
4	1,32	63
5	1,28	54
6	1,32	64
7	1,31	66
8	1,65	66
Média	1,34	60
CV (%)	6,59	29,66

Conforme já descrito em Material e Métodos, a resistência da linha de colagem dos painéis compensados não pôde ser avaliada através do esforço ao cisalhamento e foi avaliada através do esforço a tração perpendicular (Tabela 15).

Considerando-se que, no ensaio de cisalhamento de compensados, a linha de cola do painel pode necessitar de maior esforço para se romper (devido ao atrito ocasionado pelo deslizamento entre as lâminas em comparação ao ensaio de tração perpendicular da linha de cola, no qual não há nenhuma restrição para o rompimento a não ser a própria resistência da colagem), pode-se dizer que os resultados obtidos para o compensado do híbrido do presente estudo foram relativamente bons, conforme atesta a análise a seguir.

O valor médio de RLCT e falha na madeira dos compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Tabela 15) foi de 1,34 MPa e 60%, respectivamente. Esses resultados podem ser considerados bons frente aos valores de referência para resistência de colagem e falha na madeira através do esforço de cisalhamento, constantes da norma EN 314-2 (1993), apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Valores médios de referência de resistência da linha de cola e falha na madeira de painéis compensados

Tensão de ruptura (MPa)	Falha na madeira (%)
$0,2 \leq TR < 0,4$	≥ 80
$0,4 \leq TR < 0,6$	≥ 60
$0,6 \leq TR < 1,0$	≥ 40
$1,0 \leq TR$	Sem exigência

Fonte: EN 314-2 (1993)

Através dos resultados da Tabela 15 pode-se observar que os valores de tensão de ruptura foram maiores que 1,0 MPa (Tabela 16), valor a partir do qual a norma européia não exige requisitos de falha na madeira.

Iwakiri et al. (2006), encontrou para o compensado de *Pinus taeda* resistências da linha de cola ao esforço de cisalhamento de 1,40 MPa e 2,04 MPa, respectivas à duas formulações de adesivo fenólico, sendo que a formulação na qual foram adicionados trigo, casca de coco e água, tal como no presente estudo, foi a que apresentou a maior resistência em relação à outra que só foi adicionada casca de coco em sua formulação.

Iwakiri et al. (2009), realizaram ensaios de resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento de compensados produzidos com cinco espécies de *Pinus* tropicais, utilizando adesivo fenólico numa gramatura de 360g/m² (linha dupla), e encontraram os seguintes valores médios: *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (2,13 MPa); *Pinus chiapensis* (1,82 MPa); *Pinus maximinoi* (1,79 MPa); *Pinus oocarpa* (1,88 MPa) e *Pinus tecunumannii* (2,16 MPa).

Iwakiri et al. (2002b), avaliando a influência de três formulações de resina fenólica nas propriedades de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa*, encontraram para o teste de resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento valores variando de 1,84 a 2,8 MPa para *Pinus taeda* e de 1,88 a 2,6 MPa para *Pinus oocarpa*.

Iwakiri et al. (2002a) avaliaram o efeito do crescimento radial do fuste nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados de *Pinus taeda* e encontraram, para o teste de linha de cola sujeita ao esforço de cisalhamento, valores de resistência variando de 1,39 MPa (lâminas mais próximas da medula) a 1,68 MPa (lâminas mais próximas da casca). Resguardadas as

devidas especificidades de cada caso (tipo de esforço e espécie de madeira), registra-se que o valor encontrado para a resistência da colagem dos compensados utilizando lâminas mais próximas da medula foi semelhante ao encontrado no presente estudo (1,34 MPa). Os autores afirmaram que o diferencial de resistência encontrado no estudo que desenvolveram pode ter ocorrido em função de uma penetração excessiva do adesivo nas lâminas obtidas próximas à medula, as quais possuíam menor densidade e maior porosidade, resultando numa linha de cola faminta e, conseqüentemente, em menor resistência da ligação adesiva.

De acordo com a análise de variância efetuada para a variável RLCT, (ANEXO D, Tabela 30), verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos para os fatores posição da tora e gramatura, mas não houve diferença para o fator tempo de prensagem. Segundo a mesma análise de variância, houve interação significativa entre os fatores posição da tora x tempo de prensagem e entre os fatores gramatura x tempo de prensagem dos tratamentos (ANEXO D, Tabelas 31, 32, 33 e 34 respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável RLCT da interação entre os fatores posição da tora x tempo de prensagem e entre os fatores gramatura x tempo de prensagem encontram-se nas Tabelas 17 e 18, respectivamente.

Tabela 17 – Teste de médias para a variável RLCT da interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem

Posição da Tora	Tempo de Prensagem (minutos)	
	8	12
A	1,31aA	1,30aA
B	1,27aA	1,48bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas referem aos valores das linhas e as letras maiúsculas aos valores das colunas

De acordo com os dados da Tabela 17, analisando o tempo de prensagem, verifica-se que não houve diferenças significativas dos valores de RLCT entre os compensados obtidos com lâminas das toras das posições A e B, para o tempo de 8 minutos. No entanto, para o tempo de 12 minutos houve diferenças significativas, sendo que os compensados produzidos com as lâminas das toras provenientes da posição B apresentaram maior valor médio de RLCT. Supõe-se que a menor massa específica aparente dos compensados obtidos com as lâminas das toras B (Tabela

11), consequência de uma estrutura celular relativamente mais permeável, tenha facilitado a penetração do adesivo, proporcionando a ancoragem da linha de cola à maior profundidade, contribuindo, assim, para o aumento da resistência da ligação entre as lâminas.

Analisando o fator posição da tora, observa-se que os painéis produzidos com lâminas obtidas das toras da posição A não apresentaram diferenças significativas entre os tempos de 8 e 12 minutos de prensagem. No entanto, os painéis produzidos com as lâminas das toras B apresentaram diferenças significativas entre os tempos de prensagem, sendo que no tempo de 12 minutos a RLCT foi maior que no tempo de 8 minutos. Presume-se que o tempo de 8 minutos pode não ter sido suficiente para que a temperatura dos pratos da prensa atingisse as camadas mais internas do painel durante a prensagem, proporcionando a formação de uma linha de cola com grau de cura relativamente inferior (sub-curada) e, por consequência disso, de menor resistência que a obtida no tempo de prensagem de 12 minutos.

Através da análise dessas interações (Tabela 17), destaca-se que a combinação do aumento do tempo de prensagem com a utilização das lâminas provenientes das toras B na manufatura dos compensados proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo da resistência da colagem.

Tabela 18 – Teste de médias para a variável RLCT dos fatores tempo de prensagem e gramatura de cola

Tempo (minutos)	Gramatura(g/m ²)	
	380	420
8	1,29aA	1,26aA
12	1,32aA	1,49bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas referem aos valores das linhas e as letras maiúsculas aos valores das colunas.

Conforme os dados da Tabela 18, analisando o fator gramatura de cola, observa-se que não houve diferenças significativas dos valores de RLCT entre os dois tempos de prensagem para a gramatura de 380 g/m². Já para a gramatura de 420 g/m², ocorrem diferenças significativas, sendo a RLCT maior no tempo de 12 minutos.

Analisando o fator tempo de prensagem, nota-se que os valores de RLCT não apresentaram diferenças significativas entre as duas gramaturas para o tempo de 8 minutos. No

entanto, pode-se verificar que para o tempo de 12 minutos de prensagem os painéis produzidos com gramatura de 420 g/m^2 apresentaram maior RLCT.

Através da análise dessas interações (Tabela 18) destaca-se que a combinação do aumento da gramatura do adesivo e do aumento do tempo de prensagem proporcionou um acréscimo estatisticamente significativo da resistência da colagem dos compensados.

Keinert Júnior e Alberto (1992) avaliaram a influência do tempo de prensagem (6 e 9 minutos) em compensados fenólicos de *Pinus taeda* e obtiveram os melhores resultados de resistência da colagem ao esforço de cisalhamento para os painéis prensados com o maior tempo experimentado. Medina (1986) também avaliou o tempo de prensagem (3, 6 e 9 minutos) sobre as propriedades de resistência da colagem ao esforço de cisalhamento de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* e observou que o maior tempo de prensagem resultou em maior resistência da colagem dos painéis.

De modo geral, diante os resultados apresentados (Tabelas 17 e 18), pode-se destacar que os maiores valores de RLCT foram obtidos para os painéis produzidos com lâminas das toras B, tempo de prensagem de 12 minutos e gramatura de 420 g/m^2 . O aumento da resistência da linha de colagem em função do aumento do tempo de prensagem verificado no presente estudo é concordante com os dados de literatura.

5.7 Flexão estática dos painéis compensados

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE) paralelo e perpendicular à flexão estática, para os compensados de cada tratamento, estão apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática dos painéis compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Tratamentos	Flexão Estática (MPa)			
	MOR	MOE	MOR	MOE
	Paralelo		Perpendicular	
1	45	3210	19	1294
2	47	3322	22	1254
3	46	3196	21	1481
4	45	3572	22	1402
5	44	3668	23	1619
6	44	3254	21	1503
7	36	3091	17	1242
8	43	3837	17	1303
Média	44	3394	20	1387
CV (%)	9	13	14	16

De acordo com os dados da Tabela 19 pode-se dizer que os valores médios do MOR (paralelo e perpendicular) e do MOE (paralelo e perpendicular) dos painéis compensados do híbrido de *Pinus* foram, respectivamente, compatíveis e inferiores, quando comparados com os mesmos valores apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Valores do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática de painéis compensados de *Pinus* spp - (PNQM - ABIMCI, 2002)

Espessura do Painel (mm)	Quantidade de lâminas		Flexão Estática (MPa)			
			MOR	MOE	MOR	MOE
			Paralelo		Perpendicular	
9	5	Máximo	67	11573	30	2983
		Médio	49	8382	22	2229
		Mínimo	31	5192	14	1476

Fonte: Catálogo Técnico nº1 do Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM) – Compensados de *Pinus* (ABIMCI, 2002)

Considerando que o módulo de elasticidade (MOE) é um indicador de quão o material é capaz de opor-se à flexão sob determinada tensão e que o valor médio encontrado para essa propriedade foi relativamente baixo, pode-se dizer que os painéis produzidos no presente estudo expressam certa limitação, porque poderão apresentar uma deflexão relativamente alta.

A relação entre MOR e massa específica aparente dos painéis compensados produzidos no presente estudo, apresentada na Tabela 21, demonstra ser mais favorável quando comparada com a dos compensados de *Pinus* spp do Catálogo Técnico nº 1. Isso merece destaque, pois significa que o compensado de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, apesar da sua massa específica relativamente baixa, consequência da idade precoce da sua madeira, ainda apresenta apreciável resistência (MOR). De outro lado, o mesmo não pode ser dito sobre o MOE.

Tabela 21 – Comparação entre compensados obtidos a partir de diferentes espécies de *Pinus* por meio das relações entre a resistência e rigidez e a massa específica aparente do painel

Compensado	Massa específica aparente (Me) (g/cm ³)	Flexão Estática (MPa)		Relação	
		MOR Paralelo	MOE Paralelo	(MOR/Me x 100)	(MOE/Me x 10000)
<i>Pinus spp</i> ¹	0,565	49	8382	0,87	1,48
Presente Estudo	0,413	44	3394	1,07	0,82

¹Fonte: Catálogo Técnico nº1 do Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM) – Compensados de *Pinus* (ABIMCI, 2002). Refere-se aos valores médios de compensados fenólicos, produzidos por diversos fabricantes, com 9 mm de espessura e compostos por 5 lâminas.

Conforme Pereyra (1994), a Norma DIN 68705-3 (1981) estipula os seguintes valores médios mínimos de resistência para compensados destinados à construção civil: 40 MPa para o MOR paralelo e 15 MPa para o MOR perpendicular. É possível observar na Tabela 19 que os valores médios dos compensados do híbrido de *Pinus* atendem aos valores estipulados na norma em referência.

De acordo com a Norma DIN 68792 (1979), compensados de cinco camadas destinados à fabricação de formas de concreto necessitam apresentar os seguintes valores médios mínimos: 45 MPa e 5000 MPa, respectivamente, para o MOR e o MOE paralelos; 30 MPa e 2500 MPa,

respectivamente, para o MOR e o MOE perpendiculares. Em face aos valores médios do MOR e do MOE obtidos no presente estudo (Tabela 19), observa-se que os compensados do híbrido de *Pinus* não se enquadram nos requisitos da norma em referência.

A Tabela 22 apresenta outros resultados de MOR e MOE, obtidos de compensados produzidos com diversas espécies de *Pinus*, encontrados na literatura. É possível observar nessa Tabela que os valores de MOR e MOE são consideravelmente variáveis. Tais variações podem ser decorrentes das características dos compensados, tais como espessura e número de lâminas, mas, também, das espécies de madeira empregadas e especialmente da idade das árvores destas espécies.

Tabela 22 – Valores médios do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática de compensados de *Pinus* spp extraídos da literatura

Fonte	Espécie	Idade (anos)	Número de lâminas	Flexão Estática (MPa)			
				MOR	MOE	MOR	MOE
				Paralelo		Perpendicular	
Medina (1986)	<i>P. elliottii</i>	20	3 (3mm)	55	6677	14	653
Lara Palma (1997)	<i>P. elliottii</i>	30	5 (2mm)	57	6401	29	2154
Bortoletto Júnior (2010)	<i>P. merkusii</i>	26	7 (2mm)	84	11181	53	5071
Iwakiri et al. (2009)	<i>P. chiapensis</i>	16*	5 (2mm)	51	4627	IND	IND
	<i>P. caribaea</i>	16*	5 (2mm)	75	7843	IND	IND
	<i>P. maximinoi</i>	16*	5 (2mm)	62	5326	IND	IND
	<i>P. oocarpa</i>	16*	5 (2mm)	61	5195	IND	IND
	<i>P. tecunumanni</i>	16*	5 (2mm)	62	6394	IND	IND

*A partir de 16 anos de idade; IND = Informação não disponível

A comparação dos dados da Tabela 19 com os da Tabela 22 revela que os valores de MOR e MOE do presente estudo mostraram-se algo inferiores. Porém, destaca-se que essa análise não pode ser feita de maneira isolada e deve levar em consideração o número e a espessura das lâminas dos compensados, bem como a espécie de madeira e a idade das árvores que deram origem às lâminas em cada caso. Árvores de *Pinus* com idades relativamente

inferiores, como as do presente estudo, apresentam alta concentração de madeira juvenil, o que pode acarretar baixos valores de MOR e MOE dos painéis. Portanto, é provável que estudos que vierem a ser realizados com o híbrido de *Pinus* em idades mais avançadas poderão apresentar valores mais elevados.

Iwakiri et al. (2002a) avaliaram o efeito do crescimento radial nas propriedades mecânicas de compensados fenólicos de cinco lâminas (2,6mm) de *Pinus taeda*, com árvores de 27 anos de idade, e encontraram valores médios de MOR paralelo as fibras entre 46,19MPa, próximo a medula, e de 70,02MPa próximo a casca. Para o MOE paralelo os autores encontraram valores variando entre 4388,3MPa e 7170,6MPa. Os autores avaliaram cinco posições de retirada das lâminas (da medula à casca) e constataram que, tanto para as propriedades físicas quanto para as mecânicas, os painéis produzidos com lâminas retiradas próximas a medula apresentaram valores inferiores.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MOR paralelo e MOR perpendicular dos compensados do presente estudo (ANEXO E, Tabelas 35 e 36, respectivamente), verificou-se que para a variável MOR paralelo houve diferença significativa entre os tratamentos para o fator posição da tora, mas, não houve diferença para os fatores tempo de prensagem e gramatura, nem interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para a variável MOR perpendicular não houve diferença significativa entre os tratamentos, mas houve interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem (ANEXO E, Tabelas 37 e 38, respectivamente).

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável MOR paralelo do fator posição da tora e para a variável MOR perpendicular da interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem encontram-se nas Tabelas 23 e 24, respectivamente.

Tabela 23 – Teste de médias para a variável MOR paralelo do fator posição da tora dos compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

Tora	MOR paralelo (MPa)
A	46 a
B	42 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ($\alpha = 0,05$).

Conforme os dados da Tabela 23, o valor médio de MOR paralelo para os painéis produzidos com lâminas retiradas das toras A foi significativamente maior que os das toras B. Esse resultado, pelo menos como tendência, poderia ser esperado, devido à maior massa específica dos painéis produzidos com lâminas das toras A (0,425 g/cm³) em relação à massa específica dos painéis produzidos com lâminas das toras B (0,401 g/cm³), pois a correlação entre as variáveis massa específica e MOR normalmente é positiva, embora a magnitude de tal correlação possa ser variável.

Tabela 24 – Teste de médias para a variável MOR perpendicular dos fatores posição da tora e tempo de prensagem dos compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

		MOR perpendicular (MPa)	
		Tempo (minutos)	
		8	12
Tora	A	21 aA	22 aA
	B	22 aA	17 bB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas referem aos valores das linhas e as letras maiúsculas aos valores das colunas.

A partir do fator tempo de prensagem, observa-se que para o tempo de 8 minutos não houve diferenças significativas para os valores de MOR perpendicular dos compensados considerando as duas posições da tora. Cabe comentar que esse resultado não corresponde ao que poderia ser esperado, pois, a maior massa específica dos painéis obtidos das toras da posição A poderia resultar em maior valor do MOR perpendicular, fato que não ocorreu.

No entanto, para o tempo de prensagem de 12 minutos houve diferenças significativas entre as posições das toras, sendo que os compensados obtidos das toras da posição B apresentaram menor valor médio de MOR perpendicular em relação aos obtidos das toras da posição A. Neste caso, o resultado corresponde ao que se poderia esperar, ou seja, o menor valor médio de massa específica dos painéis obtidos a partir das toras B resultou em menor valor médio do MOR perpendicular desses painéis em relação aos outros obtidos a partir das toras da posição A.

Para o fator tora, observa-se que os valores médios de MOR perpendicular dos

compensados obtidos das toras A foram estatisticamente iguais considerando os dois tempos de prensagem.

Em relação aos compensados obtidos das toras B, houve diferenças significativas, sendo que o valor médio de MOR perpendicular para os painéis produzidos no tempo de prensagem de 12 minutos foi menor do que o obtido para o tempo de 8 minutos. Sabe-se que no ensaio de flexão estática as lâminas das faces do painel são as que mais contribuem para o resultado final do ensaio, especialmente aquela localizada no lado oposto ao da aplicação da força. É por esse motivo que o valor do MOR paralelo é normalmente superior ao do MOR perpendicular, porque no primeiro caso a lâmina da face do lado oposto ao da aplicação da força fica submetida à tração paralela às fibras, propriedade na qual a madeira apresenta elevada resistência, e no segundo caso, a lâmina encontra-se submetida à tração perpendicular, propriedade na qual a madeira apresenta diminuta resistência e é dependente da força de coesão entre as fibras. As lâminas das faces, durante a prensagem do painel, se encontram em contato com os pratos da prensa quente e, portanto, são aquelas que permanecem mais sujeitas a ação direta do calor. Supõe-se que a ação direta do calor (150°C) sobre as lâminas das faces, em função do prolongamento do tempo de prensagem do painel, possa ter causado alguma modificação química e, ou, rearranjo estrutural da madeira, reduzindo as forças de coesão entre as fibras e, por consequência, do MOR perpendicular.

De acordo com as análises de variância efetuadas para as variáveis MOE paralelo e MOE perpendicular, (ANEXO E, Tabelas 39 e 40, respectivamente), verificou-se que para a variável MOE paralelo não houve diferença significativa entre os tratamentos e também não houve interação significativa entre os fatores dos tratamentos. Para a variável MOE perpendicular não houve diferença significativa entre os tratamentos, mas houve interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem (ANEXO E, Tabelas 41 e 42, respectivamente), conforme foi observado também para a variável MOR perpendicular.

Os resultados dos testes de médias de *Tukey*, realizados para a variável MOE perpendicular da interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem encontram-se na Tabela 25.

Tabela 25 – Teste de médias para a variável MOE perpendicular dos fatores posição da tora e tempo de prensagem dos compensados de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

		MOE perpendicular (MPa)	
		Tempo (minutos)	
		8	12
Tora	A	1274 bA	1561 aA
	B	1442 aA	1273 aB

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). As letras minúsculas referem aos valores das linhas e as letras maiúsculas aos valores das colunas.

Através da Tabela 25 observa-se que, em relação ao fator tempo de prensagem, não houve diferença significativa dos valores médios do MOE perpendicular, para o tempo de 8 minutos, entre os compensados obtidos das toras A e B. No entanto, para o tempo de 12 minutos, observa-se que o valor médio do MOE perpendicular dos painéis confeccionados com toras retiradas da posição B foi estatisticamente menor do que os da posição A.

Considerando o fator posição da tora, observa-se que houve diferenças significativas entre os tempos de prensagem apenas para a posição A, sendo que o valor médio do MOE perpendicular dos compensados prensados no tempo de 8 minutos foi menor do que o dos painéis prensados no tempo de 12 minutos. Isso pode estar relacionado com um estágio de cura do adesivo mais avançado no tempo de 12 minutos.

Analisando conjuntamente os dados das Tabelas 24 e 25, pode-se dizer que os resultados de MOR e MOE perpendiculares dos compensados apresentaram a mesma tendência sob a influência da interação entre tempo de prensagem e posição da tora, porém, com algumas diferenças em magnitude e em significância estatística. Destaca-se o fato dos painéis produzidos com lâminas provenientes das toras da posição B, prensados no tempo de 12 minutos, terem apresentado, na maioria dos casos, valores inferiores.

Medina (1986) ao avaliar os efeitos da temperatura de aquecimento das toras previamente à operação de laminação, e da temperatura e do tempo de prensagem na produção de compensados fenólicos de três lâminas de *Pinus elliottii*, constatou que não houve interação entre os fatores avaliados para as propriedades mecânicas dos painéis.

Almeida et al. (2004) avaliaram os efeitos da gramatura de cola (320 e 360 g/m²), do

tempo de prensagem (8 e 12 minutos) e da madeira de dois clones (I e II) do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* nas propriedades mecânicas dos painéis compensados e não verificaram interação entre os fatores analisados. Houve apenas o efeito isolado do fator clone, sendo que os valores de MOR paralelo e perpendicular foram maiores para os painéis produzidos com madeira do clone de maior densidade.

6 CONCLUSÕES

Diante os resultados dos experimentos efetuados com a madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, aos 7 anos e 10 meses de idade, apresentados e discutidos, conclui-se que:

- Devido à idade precoce, a madeira do híbrido *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* apresentou valor médio de densidade básica ($0,320 \text{ g/cm}^3$) relativamente baixo em comparação com os valores de densidade básica de outras espécies de *Pinus* encontrados na literatura;
- O rendimento médio do processo de laminação das toras (A e B) do híbrido, sem casca, foi de aproximadamente 53%, cujo valor é compatível com os valores de alguns estudos sobre laminação de outras espécies de *Pinus* encontrados na literatura;
- As toras da base (A) produziram maior quantidade de lâminas, no entanto, as lâminas produzidas pelas toras B foram de melhor qualidade. Lâminas das classes C e C+ somadas perfizeram aproximadamente 61% do total obtido;
- O valor médio de massa específica aparente dos compensados do híbrido foi relativamente baixo em comparação aos valores de massa específica de outros compensados de *Pinus* observados na literatura. Os painéis compensados confeccionados com lâminas provenientes das toras A apresentaram valor médio de massa específica aparente ($0,425 \text{ g/cm}^3$) estatisticamente superior ao encontrado para os compensados produzidos com lâminas originadas a partir das toras B ($0,401 \text{ g/cm}^3$);
- Os compensados do híbrido apresentaram boa estabilidade dimensional, à medida que o seu valor médio de inchamento em espessura (4,32%) foi relativamente baixo em comparação aos valores da mesma propriedade de outros compensados de *Pinus* encontrados na literatura. O tempo de prensagem de 12 minutos para a produção dos compensados do híbrido resultou em diminuição estatisticamente significativa do inchamento em espessura;
- A resistência da linha de colagem dos compensados do híbrido foi relativamente boa, considerando que o valor médio obtido para essa propriedade foi de 1,34 MPa e o ensaio

foi realizado a partir do esforço de tração perpendicular. Os maiores valores de resistência da colagem foram obtidos para os compensados do híbrido produzidos com lâminas das toras B, maior tempo de prensagem (12 minutos) e maior gramatura (420g/m²);

- Nos ensaios de flexão estática os compensados do híbrido apresentaram valores médios do MOR paralelo e perpendicular compatíveis com os valores médios das mesmas propriedades constantes do Catálogo Técnico nº1 do Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM) – Compensados de Pinus (ABIMCI, 2002). Porém, os valores médios do MOE paralelo e perpendicular dos compensados do híbrido foram relativamente inferiores. Houve efeito do fator posição da tora sobre o MOR paralelo dos compensados do híbrido e o valor médio observado para os painéis confeccionados com lâminas das toras da posição A foi estatisticamente superior. Verificou-se que houve interação entre os fatores posição da tora e tempo de prensagem sobre o MOR e o MOE perpendicular, cujos valores médios, na maioria dos casos, foram inferiores para os painéis confeccionados com lâminas das toras B e prensados no tempo de 12 minutos;
- Modo geral a madeira de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, aos 7 anos e 10 meses de idade, apresentou bom potencial para produção de lâminas e manufatura de compensados, cujos painéis, por exemplo, poderiam ser empregados na construção civil, na fabricação de móveis, embalagens e caixas. Porém, o emprego dos compensados do híbrido em produtos que requeiram elevados valores do MOR e do MOE, por exemplo, em formas de concreto, não é aconselhável, porque esses painéis não satisfariam tais requisitos.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, C.E.C. de; LATORRACA, J.V.F. Influência das características anatômicas da madeira na penetração e adesão de adesivos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n.1, p. 158-166, jan./dez. 2000.

ALMEIDA, R.R. **Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufaturas de painéis compensados**. 2002. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ALMEIDA, R.R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I.P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 1, p. 14-24, ago./dez. 2004

ALMEIDA, V.C. **Efeito da adição de carga e extensor nas propriedades do adesivo uréia-formaldeído e dos compensados de Pinus e Paricá**. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-1037: standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. In: _____. **Annual book of ASTM standard**. Philadelphia, 2002. p. 1-30.

ANALÍA, G.P. **Propagacion in vitro de um Híbrido entre *Pinus elliottii* var. *elliottii* y *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2010. 67 p. Tesis – Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional Del Nordeste, Corrientes, 2010.

ARCHER, L.B. A fabricação de bons compensados. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 113-121, 1948.

ARONI, A.S.; REZENDE, M.A. de. Avaliação anual dos índices de produtividade do híbrido do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* x *Pinus tecunumanni*, no Estado de São Paulo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 22, n. 1, p. 17-32, 2007.

ASSIS, T.F. Aspectos do melhoramento de *Eucalyptus* para obtenção de produtos sólidos de madeira. In: WORKSHOP TÉCNICAS DE ABATE, PROCESSAMENTO E UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO, 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, DEF; SIF; IEF, 1999. p. 61-72.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Programa Nacional de Qualidade da Madeira**. Curitiba, 2002. 20 p. (Catálogo Técnico, 1).

_____. **Colar com qualidade**. 2003a. 4 p. (Artigo Técnico, 8). Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>> Acesso em: 26 jan. 2011.

_____. **O setor florestal e o segmento de produtos de madeira sólida no Brasil.** Brasília, 2003b. 12p. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 14 ago. 2009

_____. **Defeitos de secagem de serrados e lâminas de madeira,** 2004. 5 p. (Artigo Técnico, 28). Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 26 jan. 2011.

_____. **Estudo setorial 2004:** indústria de madeira processada mecanicamente. Brasília, 2005. 52 p. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 14 ago. 2009.

_____. **Estudo setorial 2007:** indústria de madeira processada mecanicamente. Brasília, 2007. 54 p. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 14 ago. 2009.

_____. **Estudo setorial 2008:** indústria de madeira processada mecanicamente. Brasília, 2008. 54 p. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso em: 14 ago. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9531:** chapas de madeira compensada: classificação. Rio de Janeiro, 1986a. 3 p.

_____. **NBR 9485:** chapas de madeira compensada: determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro, 1986b. 3 p.

_____. **NBR 9534:** chapas de madeira compensada: determinação da resistência da colagem ao esforço do cisalhamento. Rio de Janeiro, 1986c. 3 p.

_____. **NBR 9535:** chapas de madeira compensada: determinação do inchamento. Rio de Janeiro, 1986d. 3 p.

_____. **NBR 9484:** chapas de madeira compensada: determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 1986e. 2 p.

_____. **NBR ISO 12466-1:** chapas de madeira compensada: qualidade de colagem. Rio de Janeiro, 1999. 9 p.

BALDWIN, R.F. **Plywood manufacturing practices.** San Francisco: Miller Freeman, 1975. 260 p.

_____. **Plywood manufacturing practices.** San Francisco: Miller Freeman, 1981. 326 p.

BONDUELLE, G.M. **Tecnologia de laminação de madeiras.** Paris: CTBA, 1996. 81 p.

BONDUELLE, G.M.; IWAKIRI, S.; CHIES, D.; MARTINS, D. Fatores que influenciam no rendimento em laminação de *Pinus spp.* **Floresta e Ambiente**, Seropedica, v.12, n.2, p. 35-41, nov./dez. 2006.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 65-78, jun. 2003.

_____. **Produção de lâminas, compensado e laminated veneer limber - LVL a partir de madeira de *Pinus merkusii***. 2006. 110 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

_____. Avaliação da qualidade da madeira de *Pinus merkusii* para produção de lâminas. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 95-103, jun. 2008a.

_____. Estudos de algumas propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus merkusii*. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 237-243, set. 2008b.

_____. Effects of ply grading and assembly on the properties of plywood panels from *Pinus merkusii*. **Cerne**. Lavras, v. 16, n. 2, p. 145-153, abr./jun. 2010.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; BELINI, U. L. Produção de lâminas e manufatura de compensados a partir da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parayba* Blake.) proveniente de um plantio misto de espécies nativas. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 16–28, jul./dez. 2002.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J.N. Propriedades de resistência e rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, jul./ago. 2004.

BRAND, M.A.; MUÑIZ, G.I.B. de. Caracterização do rendimento e dos resíduos em uma laminadora através do balanço de materiais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. 1 CD-ROM.

CARPANEZZI, A.A.; FERREIRA, C.A.; ROTTA, E.; NAMIKAWA, I.S.; STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; MONTAGNER, L.H.; RAUEN, M.J.; CARVALHO, P.H.R.; SIVEIRA, R.A.; ALVES, S.T. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado do Paraná**. Brasília: Embrapa, CNPF. 1986. 89 p. (Documentos, 17).

CHONG, S.L. Veneer yields of New Zealand: grow slash pine. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 7, n. 3, p. 420-424, 1977

COUTO, H.T.Z.; BRITO, J.O. Produtividade de plantações no nordeste brasileiro. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 3, n. 10, p. 71–83, jun. 1982.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **Large area shuttering panels of veneer plywood for concrete and reinforced concrete**. Berlin: Beuth Verlag, 1979. 3 p. (DIN, 68792).

_____. **Plywood: building-veneer plywood**. Berlin: BeuthVerlag, 1981. 14 p. (DIN, 68705-3).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN – 310/314-2: plywood: bonding quality. Part 2: Requirements. Bruxelas, 1993. 12 p.

GALVÃO, A.P.M. de; JANKOWSKY, I.P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p.

HARDING, K.J.; COPLEY, T.R. Wood property variation in Queensland-Grown Slash x Caribbean Pine Hybrids. In: SYMPOSIUM ON HYBRID BREEDING AND GENETICS, 2000, Noosa Lakes Resort. **Proceedings...** Noosa: Queensland Forestry Research Institute. 2000. 7 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DE SÃO PAULO. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. São Paulo, 2003. 59 p.

INTERAMNENSE, M.T. **Utilização das madeiras de *Eucalyptus cloeziana* (F. MUELL), *Eucalyptus maculata* (HOOK) e *Eucalyptus punctata* DC var. *punctata* para produção de painéis compensados**. 1998. 81 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 245 p

IWAKIRI, S.; NIELSEN, I.R.; ALBERTI, R.A.R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 19–24, jul./dez. 2000.

IWAKIRI, S.; PEREIRA, S.J.; NISGOSKI, S. Avaliação da qualidade de colagem em compensados de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus robusta*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 6, n. 1, p. 45-50, jan./dez. 1999.

IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D.P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M.A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de *Pinus* tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001

IWAKIRI, S.; SHIMOYAMA, V.R.S.; PEDROSA, A.L.; ANJOS, R.A.M. dos. Efeito do crescimento radial de *Pinus taeda* (L.) nas propriedades do painel compensado. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 90-96, jan./dez. 2002a.

IWAKIRI, S.; DEL MENEZZI, C.S.; LAROCA, C.; VENSON, I.; MATOSKI, S.S. Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 92–97, 2002b.

IWAKIRI, S.; SILVA, J.C.; SILVA, J.R.M. da; ALVES, A.R.; PUEHRINGER, C.A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 371-375, maio/jun. 2002c.

IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M. de; LIMA, A.J.M. de; FERREIRA, E.S.; BATISTA, D.C.; ROMÃO, S.A.A. Produção de painéis compensados de *Pinus tropicais* colados com resina fenol-formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 669-673, jul./set. 2009.

IWAKIRI, S.; RAZERA NETO, A.; ALMEIDA, B.C. de; BIASI, C.P.; CHIES, D.; GUI SANTES, F.P.; FRANZONI, J.A.; RIGATTO, P.A.; BETTEGA, W.P. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, 2006.

JANKOWSKY, I.P. Qualidade das lâminas de *Pinus strobus* (MARTINEZ) var. *chiapensis* obtidas por desenrolamento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 50-59, 1978.

_____. Manufatura de painéis compensados com madeira de *Eucalyptus* spp: resultados preliminares. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 82, p. 46-53, 1979.

_____. Produção de lâminas e painéis compensados de madeiras de pinheiros tropicais. **Boletim Informativo Pesquisa Tecnológica para Melhoria da Qualidade do Pinho**, Piracicaba, n. 3, p. 1-86, 1980a.

_____. Variação da resistência à flexão estática do compensado de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, em função da quantidade de extensor e do tempo de montagem. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 124, p. 43-67, 1980b.

_____. Manufatura de painéis compensados com *Eucalyptus*: caracterização de diversas espécies. **IPEF**, Piracicaba, n. 28, p. 821-824, 1983.

KEINERT JÚNIOR, S.; ALBERTO, M.M.M. Influência de diversos tempos e temperaturas de prensagem em compensados fenólicos de *Pinus taeda*: efeito sobre a resistência de colagem ao esforço de cisalhamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 67-79, 1992.

KLOCK, U. **Qualidade da madeira juvenil de *Pinus Maximinoi* H.E.Moore**. 2000. 291 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B. de; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. de. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 86 p.

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. Principles of wood science and technology. **Wood based materials**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2, p. 154-283.

LARA PALMA, H.A. Determinação de propriedades elásticas e de resistência em compensados de *Pinus elliottii*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 51, p. 37-48, jun. 1997.

_____. Efeito da massa específica nas propriedades de flexão estática em compensados de *Pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 161-171, 1999.

LIMA, N.N.; PIO, N.S. Avaliação da gramatura de cola na propriedade de flexão estática em painéis compensados de *Copaifera duckei* Dwyer e *Eperua oleifera* Ducke. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 3, p. 347–352, 2007.

LORENZI, H.; SOUZA, H.M. de; TORRES, M.A.V. **Árvores exóticas no Brasil**: madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

LUTZ, J.F. **Wood veneer log selection, cutting and drying**. Washington: USDA, 1978. 740 p. (Technical Bulletin, 1577).

MACEDO, A.R.P.; ROQUE, C.A.L. Painéis de Madeira. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 6, p. 117–132, 1997.

MARCHESAN, R.; MATTOS, P.P. de; ROSOT, N.C. **Caracterização física, química e anatômica da madeira de *Pinus palustris***. Curitiba: Embrapa Florestas, 2007. 3 p. (Comunicado Técnico, 184).

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding**: principles and practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454 p.

MATTOS, R.L.G.; GONÇALVES, R.M.; CHAGAS, F.B. das. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MEDINA, J.C. **Efeito da temperatura de aquecimento na produção de lâminas por desenrolamento e sobre a qualidade da colagem de compensados fenólicos de *Pinus elliottii* Engelm.** 1986. 110 p. Dissertação (Mestrado Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1986.

MORAIS, S.A.L. de; NASCIMENTO, E.A. do; MELO, D.C. de. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* Parte I – Estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

MUÑIZ, G.I.B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm e *Pinus taeda* L.** 1993. 235 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1993.

NIKLES, D.G. The first 50 years of the evolution of forest tree improvement in Queensland. In: QFRI-IUFRO CONFERENCE, 1996, Caloundra. **Tree improvement for sustainable tropical forestry**: proceedings... Gympie: Queensland Forestry Research Institute, 1996. p. 51-64.

_____. Experience with some *Pinus* hybrids in Queensland, Australia. In: SYMPOSIUM ON HYBRID BREEDING AND GENETICS, 2000, Noosa. **Proceedings...** Noosa: Queensland Forestry Research Institute. 2000. p. 27–43.

NIKLES, D.G.; ROBINSON, M.J. The development of *Pinus* hybrids for operational use in Queensland. In: IUFRO CONFERENCE, 1989, Pattaya. **Breeding tropical trees: population structure and genetic improvement strategies in clonal and seedling forestry; proceedings...** Cidade: IUFRO, 1989. p. 25–35.

OLIVEIRA, J.T.S.; FREITAS, A.R. de. **Painéis à base de madeiras**. São Paulo: USP, Escola Politécnica, 1995. 41 p. (Boletim Técnico, 2).

PEREYRA, O. **Avaliação da madeira de *Eucalyptus dunnii* (Maid) na manufatura de painéis compensados**. 1994. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

PINUS BRASIL. **Pinus Brasil Agro Florestal LTDA**. Disponível em:
<www.pinusbrasil.com.br> Acesso em: 20 ago. 2009.

PONCE, R.H. O empenamento e o fendilhamento dos compensados. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 28-33, 1971.

PRATA, J.G. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. 2006. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

REZENDE, M.A. de; ARONI, A.S.; COSTA, V.E.; SEVERO, E.T.D.; LATORRACA, J.V.F. Densidade e produtividade da madeira de híbrido e seminal de *Pinus caribaea*. **Floresta e Ambiente**, Seropedica, v. 15, n. 2, p. 8-17, 2008.

RIBEIRO, P.G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 2009. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SELBO, M.L. **Adhesive bonding of wood**. Washington: USDA, Department of Agriculture, Forest Service, 1975. 122 p. (Technical Bulletin, 1512).

SELLERS JR., T. **Plywood and adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661 p.

SHIMIZU, J.Y. Pinus na silvicultura brasileira. **Revista da Madeira**, ago. 2006.
Disponível em: <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=83&id=593> .
Acesso em: 09 jul. 2010.

SILVA, D.A. da. **Análise crítica da tecnologia de utilização da fabricação de compensado no Brasil**. 1998. 28 p. Exame de Qualificação – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1998.

SILVA, J.R.M. da; MATOSKI, S.L.S.; LEONHADT, G.; CARON, J. Produção de chapas com diferentes espécies de pinus. **Revista da Madeira**, ano 14, n. 84, 2004. Disponível em:
<<http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira.php>>. Acesso em: 20 out. 2010.

SOUZA, M.H.; MAGLIANO, M.M.; CAMARGOS, J.A.A. **Madeiras tropicais brasileiras**. 2. ed. Brasília: Edições IBAMA, 2002. 152 p.

SUCHSLAND, O.; JANKOWSKY, I.P. A produção de lâminas de madeira por desenrolamento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 33, p. 1-8, 1978.

TOMAZELLO FILHO, M.; SILVA, D.A. da. Formação e caracterização da madeira de compressão em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 37, p. 51-59, dez. 1987.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

UMAÑA, C.L.A.; BRITO, E.O. Cozimento da madeira altera a qualidade das lâminas, **Revista da Madeira**, ano 13, n. 78, 2004. Disponível em:
<<http://www.remade.com.br/revistadamadeira.php>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

WALKER, J.C.F. **Primary wood processing**: principles and practice. London: Chapman & Hall, 1993. 595 p.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela 26 – Análise de variância para a variável densidade básica da madeira

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TRAT	2	0.002543	0.001272	5.670	0.0185*
Erro	12	0.002691	0.000224		
Total Corrigido	14	0.005234			
CV (%) =	4.67				
Média Geral:	0.3204220				Número de observações: 15

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

ANEXO B

Tabela 27 – Análise de variância para a variável massa específica aparente dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tora	1	0.003415	0.003415	15.152	0.0013*
Gramatura	1	0.000043	0.000043	0.190	0.6684 ^{NS}
Tempo	1	0.000111	0.000111	0.494	0.4922 ^{NS}
Tora X Gramatura	1	0.000293	0.000293	1.301	0.2708 ^{NS}
Tora X Tempo	1	0.000309	0.000309	1.370	0.2589 ^{NS}
Gramatura X Tempo	1	0.000325	0.000325	1.441	0.2474 ^{NS}
Tora X Gramatura X Tempo	1	0.000163	0.000163	0.722	0.4080 ^{NS}
Erro	16	0.003606	0.000225		
Total Corrigido	23	0.008266			
CV (%) =	3.64				
Média Geral:	0.4127542				

Número de observações: 24

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

ANEXO C

Tabela 28 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável inchamento em espessura dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tora	1	0.016017	0.016017	0.111	0.7434 ^{NS}
Gramatura	1	0.014017	0.014017	0.097	0.7593 ^{NS}
Tempo	1	0.653400	0.653400	4.527	0.0493*
Tora X Gramatura	1	0.045067	0.045067	0.312	0.5841 ^{NS}
Tora X Tempo	1	0.546017	0.546017	3.783	0.0696 ^{NS}
Gramatura X Tempo	1	0.228150	0.228150	1.581	0.2267 ^{NS}
Tora X Gramatura X Tempo	1	0.096267	0.096267	0.667	0.4261 ^{NS}
Erro	16	2.309400	0.144338		
Total Corrigido	23	3.908333			
CV (%) =	8.79				
Média Geral:	4.3216667				Número de observações: 24

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 29 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável recuperação em espessura dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tora	1	0.010004	0.010004	0.221	0.6450 ^{NS}
Gramatura	1	0.026004	0.026004	0.573	0.4600 ^{NS}
Tempo	1	0.071504	0.071504	1.576	0.2273 ^{NS}
Tora X Gramatura	1	0.080504	0.080504	1.775	0.2015 ^{NS}
Tora X Tempo	1	0.044204	0.044204	0.974	0.3383 ^{NS}
Gramatura X Tempo	1	0.090038	0.090038	1.985	0.1780 ^{NS}
Tora X Gramatura X Tempo	1	0.036038	0.036038	0.794	0.3860 ^{NS}
Erro	16	0.725867	0.045367		
Total Corrigido	23	1.084162			
CV (%) =	32.09				
Média Geral:	0.6637500				Número de observações: 24

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

ANEXO D

Tabela 30 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tora	1	0.062393	0.062393	8.006	0.0121*
Gramatura	1	0.096406	0.096406	12.370	0.0029*
Tempo	1	0.031299	0.031299	4.016	0.0623 ^{NS}
Tora X Gramatura	1	0.026474	0.026474	3.397	0.0839 ^{NS}
Tora X Tempo	1	0.073118	0.073118	9.382	0.0074*
Gramatura X Tempo	1	0.054046	0.054046	6.935	0.0181*
Tora X Gramatura X Tempo	1	0.016250	0.016250	2.085	0.1680 ^{NS}
Erro	16	0.124694	0.007793		
Total Corrigido	23	0.484679			
CV (%) =	6.59				
Média Geral:	1.3392375				

Número de observações: 24

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 31 – Análise de variância do desdobramento dos fatores posição da tora dentro de cada nível de tempo de prensagem para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TORA	/1 1	0.000213	0.000213	0.027	0.8706 ^{NS}
TORA	/2 1	0.135299	0.135299	17.361	0.0007*
Erro	16	0.124694	0.007793		

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 32 – Análise de variância do desdobramento dos fatores tempo de prensagem dentro de cada nível de posição da tora para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TEMPO	/1 1	0.004370	0.004370	0.561	0.4648 ^{NS}
TEMPO	/2 1	0.100047	0.100047	12.837	0.0025*
Erro	16	0.124694	0.007793		

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 33 – Análise de variância do desdobramento dos fatores gramatura de adesivo dentro de cada nível de tempo de prensagem para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
GRAMATURA	/1 1	0.003043	0.003043	0.390	0.5408 ^{NS}
GRAMATURA	/2 1	0.147408	0.147408	18.915	0.0005*
Erro	16	0.124694	0.007793		

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 34 – Análise de variância do desdobramento dos fatores tempo de prensagem dentro de cada nível de gramatura de adesivo para a variável resistência da linha de colagem a tração perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TEMPO	/1 1	0.001544	0.001544	0.198	0.6622 ^{NS}
TEMPO	/2 1	0.083801	0.083801	10.753	0.0047*
Erro	16	0.124694	0.007793		

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

ANEXO E

Tabela 35 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável módulo de ruptura paralelo dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tora	1	112.277004	112.277004	6.905	0.0183*
Gramatura	1	23.344538	23.344538	1.436	0.2483 ^{NS}
Tempo	1	50.373037	50.373037	3.098	0.0975 ^{NS}
Tora X Gramatura	1	11.111204	11.111204	0.683	0.4206 ^{NS}
Tora X Tempo	1	22.795504	22.795504	1.402	0.2537 ^{NS}
Gramatura X Tempo	1	11.193004	11.193004	0.688	0.4189 ^{NS}
Tora X Gramatura X Tempo	1	44.963438	44.963438	2.765	0.1158 ^{NS}
Erro	16	260.177267	16.261079		
Total Corrigido	23	536.234996			
CV (%) =	9.21				
Média Geral:	43.8045833			Número de observações: 24	

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 36 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tora	1	16.843969	16.843969	2.106	0.1661 ^{NS}
Gramatura	1	1.364363	1.364363	0.171	0.6851 ^{NS}
Tempo	1	26.574995	26.574995	3.322	0.0871 ^{NS}
Tora X Gramatura	1	20.149620	20.149620	2.519	0.1321 ^{NS}
Tora X Tempo	1	67.216128	67.216128	8.402	0.0105*
Gramatura X Tempo	1	0.261940	0.261940	0.033	0.8587 ^{NS}
Tora X Gramatura X Tempo	1	7.359891	7.359891	0.920	0.3517 ^{NS}
Erro	16	127.999221	7.999951		
Total Corrigido	23	267.770127			
CV (%) =	13.87				
Média Geral:	20.3929042			Número de observações: 24	

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 37 – Análise de variância do desdobramento dos fatores posição da tora dentro de cada nível de tempo de prensagem para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TORA	/1 1	8.382071	8.382071	1.048	0.3213 ^{NS}
TORA	/2 1	75.678026	75.678026	9.460	0.0072*
Erro	16	127.999221	7.999951		

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 38 – Análise de variância do desdobramento dos fatores tempo de prensagem dentro de cada nível de posição da tora para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TEMPO	/1 1	4.631295	4.631295	0.579	0.4578 ^{NS}
TEMPO	/2 1	89.159828	89.159828	11.145	0.0042*
Erro	16	127.999221	7.999951		

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 39 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável módulo de elasticidade paralelo dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tora	1	114393.756817	114393.756817	0.597	0.4509 ^{NS}
Gramatura	1	252182.801067	252182.801067	1.317	0.2681 ^{NS}
Tempo	1	21931.260417	21931.260417	0.115	0.7395 ^{NS}
Tora X Gramatura	1	9046.613400	9046.613400	0.047	0.8307 ^{NS}
Tora X Tempo	1	19866.260417	19866.260417	0.104	0.7516 ^{NS}
Gramatura X Tempo	1	759889.211267	759889.211267	3.967	0.0637 ^{NS}
Tora X Gramatura X Tempo	1	301764.256067	301764.256067	1.575	0.2274 ^{NS}
Erro	16	3064591.347333	191536.959208		
Total Corrigido	23	4543665.506783			
CV (%) =	12.90				
Média Geral:	3393.8308333				

Número de observações: 24

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 40 – Análise de variância dos fatores de tratamento para a variável módulo de elasticidade perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tora	1	20746.404038	20746.404038	0.399	0.5365 ^{NS}
Gramatura	1	11402.708204	11402.708204	0.219	0.6458 ^{NS}
Tempo	1	21689.492504	21689.492504	0.417	0.5275 ^{NS}
Tora X Gramatura	1	1528.489204	1528.489204	0.029	0.8660 ^{NS}
Tora X Tempo	1	312129.760838	312129.760838	6.005	0.0261*
Gramatura X Tempo	1	7154.270704	7154.270704	0.138	0.7155 ^{NS}
Tora X Gramatura X Tempo	1	17415.632504	17415.632504	0.335	0.5708 ^{NS}
Erro	16	831652.494200	51978.280887		
Total Corrigido	23	1223719.252196			
CV (%) =	16.43				
Média Geral:	1387.3454167				

Número de observações: 24

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 41 – Análise de variância do desdobramento dos fatores posição da tora dentro de cada nível de tempo de prensagem para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TORA	/1 1	246909.009675	246909.009675	4.750	0.0446
TORA	/2 1	85967.155200	85967.155200	1.654	0.2167
Erro	16	831652.494200	51978.280887		

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade

Tabela 42 – Análise de variância do desdobramento dos fatores tempo de prensagem dentro de cada nível de posição da tora para a variável módulo de ruptura perpendicular dos compensados

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
TEMPO	/1 1	84630.005208	84630.005208	1.628	0.2202
TEMPO	/2 1	249189.248133	249189.248133	4.794	0.0437
Erro	16	831652.494200	51978.280887		

NS = não significativo

* = significativo à 95% de probabilidade