

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

BRUNA ROBERTA PEREIRA BACELLAR

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS COMPENSADOS
PRODUZIDOS COM RESINA À BASE DE SOJA

CURITIBA
2014

BRUNA ROBERTA PEREIRA BACELLAR

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-MECÂNICA DE PAINÉIS COMPENSADOS
PRODUZIDOS COM RESINA À BASE DE SOJA

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina de AT063 - Estágio Profissionalizante em Engenharia Industrial Madeireira do curso de Engenharia Industrial Madeireira do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Rosilani Trianoski
Co-orientador Prof. Dr. Vitor Afonso Hoeflich

CURITIBA
2014

Aqueles que sempre serão meu alicerce,

*João Batista Pereira (in memoriam), Louraci de
Oliveira Pereira, Leonice Batista Pereira Bacellar e
Milton Eurico Bacellar*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Desde o início da graduação eu ficava ponderando sobre o que escrever e a quem agradecer quando chegasse a hora de escrever meu TCC. Gostaria que fosse mais do que apenas citar nomes, ou fatos, queria realmente demonstrar o quanto sou grata por todos que passaram em minha vida e tudo o que aconteceu para que eu chegasse até aqui. E é realmente esse o sentimento que tenho neste momento: gratidão!

Escrever o trabalho de conclusão de curso é apenas conceber um trabalho que para mim nunca foi solitário, mas sim coletivo. Só cheguei até este momento porque tiveram momentos difíceis e passos errados que me fizeram aprender querer melhorar sempre. Mas mais importante que isto foram as pessoas que se juntaram a essa caminhada e me estenderam as mãos.

O princípio do meu agradecimento começa por meus pais, Nice e Milton, pelo esforço sobrenatural que fizeram para me dar a oportunidade de chegar onde cheguei. Abriram mão de tudo e sempre colocaram eu e meus irmãos na frente de qualquer objetivo de vida. Não sou apenas eternamente grata, mas também orgulhosa e privilegiada por ter vocês ao meu lado.

Agradeço ao meu amigo, confidente e amante, Lucas Pedrosa: sem você eu não teria chegado tão longe, você é inspiração e orgulho, é motivo de muitas alegrias e felicidade, é motivo para eu querer sempre mais, é o amor da minha vida.

Aos meus amores incondicionais, Louraci, Maria Eduarda, Dérek Bruno e Luan Henrique. Tia Cleide e Tio Iziel, grandes exemplos da minha vida, amo vocês

Aos meus amigos-irmãos, o bem mais precioso que a vida pode pôr no meu caminho: Dercy, Joma, Indiona, Clériston, Nika, Lucapower e Punk. Ao melhor grupo PET que já existiu, uma família unida que só me deu coisas boas: Lay, Rodriguinho, Lili, Pants, Dre, Alê, Renato, Renatinha e Erick. A Maria Renata Machado, que sempre esteve ao meu lado mesmo nesses cinco anos de ausência; e por último, não menos importante, aos agregados de Caçapava-SP: vocês são demais!

Aos grandes mestres, que não apenas me ensinaram dentro da sala, mas me privilegiaram com suas convivências, conselhos e conversas, especialmente a prof. Simone, prof. Mayara, prof. Ivan e prof. Rui. A minha orientadora, professora Rosilani, exemplo de profissionalismo, que abraçou minha causa, e fez com que tudo pudesse tornar realidade, muito obrigada pelo companheirismo e ensinamentos. Ao professor

Vitor, sempre prestativo e com um sorriso no rosto, sempre me dando forças e me colando pra cima, grande exemplo a ser seguido.

Ao grupo “Diabarada” da Masterpiso: Ana, Érica e Diego, motivo de risadas todas as manhãs. Ao Fred, profissional ímpar e que eu me orgulho muito de ter conhecido. A Maria e à Joana; Fabio Valério, seu Antonio Carlos, Cláudio, Jô, Osvaldo, Vilmar, Dirceu, seu Leonardo, João, Nilson enfim a todo pessoal da produção da Master, pessoas guerreiras e sempre alegres, que me ensinaram muito. Um agradecimento especial ao Rafael e a Lilian Cirino pela grade oportunidade que me ofereceram.

Á vida, aos caminhos trilhados até aqui, ao Deus do meu coração!

O segredo está primeiro na generosidade, no prazer de saber doar; no encontro com as pessoas e amá-las. Eu sou um homem feliz!

Carlos Vilaró.

Quando você enxergar além de si mesmo você irá poder encontrar a paz da mente te esperando lá.

George Harrison.

RESUMO

Devido as características favoráveis, os painéis compensados possuem diversas aplicações, desde estruturais até decorativas. Compensados de 5 lâminas, colados com resina à base de soja foram produzidos em Laboratório, com diferentes composições (*Pinus*, *Eucalyptus* e *Pinus + Eucalyptus*) e com diferentes gramaturas (45, 55 e 65 g/m²) com o objetivo de avaliar esses fatores, sobre a massa específica do painel, módulo de ruptura e elasticidade e resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento. Verificou-se que para todos os testes realizados os melhores resultados foram obtidos para os painéis produzidos somente com *Eucalyptus*. Os resultados para avaliar a resistência da linha de cola foram bons para os ensaios à seco, porém, para o ensaio úmido nenhum tratamento atingiu os requisitos exigidos pela norma. Não foram constatadas diferenças estatística entre os tratamentos para o fator gramatura para nenhum dos testes realizados. Assim, recomenda-se que a resina de soja seja utilizada apenas para produtos de uso interno.

ABSTRACT

Due to its favorable characteristics, the plywood panels have many applications, from decorative to structural. Offset of 5 blades, bonded with soy-based resin were produced in a laboratory , with different compositions (*Pinus*, *Eucalyptus* and *Pinus + Eucalyptus*) and with different weights (45, 55 and 65 g / m²) in order to assess these factors on the specific gravity of the panel, bending strength and elasticity and strength of glue line shear stress . It was found that for all tests the best results were obtained for the panels made with only *Eucalyptus*. The results to assess the glue line resistance were good for the dry tests, however, for the wet test no treatment reached required by the standard. There were no statistical differences between treatments for weight factor for any of the tests. Thus, it is recommended that the soy resin be used only for internal use products.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. MODELO SIMPLIFICADO DA CADEIA PRODUTIVA FLORESTAL	16
FIGURA 2. CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA SEGUNDO A ESTRUTURA DE FABRICAÇÃO.....	17
FIGURA 3. VISCOSÍMETRO DE BROOKFIELD.	26
FIGURA 4. ETAPAS DO PROCESSO DE COLAGEM. A) BATIDA DE COLA; B) PESAGEM DA COLA NA LAMINA PARA MONTAGEM DO PAINEL; C) COLA DISTRIBUÍDA NA LÂMINA E MONTAGEM DO PAINEL; D) PRENSA UTILIZADA.	28
FIGURA 5. ESQUEMA PARA A RETIRADA DOS CORPOS-DE-PROVA DOS PAINÉIS PARA OS ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS. MOE = MÓDULO DE ELASTICIDADE; MOR = MÓDULO DE RUPTURA; CS = CISALHAMENTO.	29
FIGURA 6. ENSAIOS REALIZADOS NOS CORPOS-DE-PROVA. A) ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA; B) ENSAIO DE ESFORÇO CISALHANTE; C) CORPO-DE-PROVA APÓS ENSAIO DE ESFORÇO CISALHANTE; D) CORTE DOS CORPOS-DE-PROVA	30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO ADESIVO	21
TABELA 2. ESQUEMA DE MONTAGEM DOS PAINÉIS COMPENSADOS.....	27
TABELA 3. CONDIÇÕES DE Prensagem dos painéis.....	27
TABELA 4. ENSAIO FÍSICO-MECANICOS REALIZADOS E NORMAS ADOTADAS.	29
TABELA 5. TRATAMENTOS REALIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS	31
TABELA 6 CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DA RESINA.....	32
TABELA 7. RESULTADOS MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE.....	33
TABELA 8. RESULTADOS MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% PARA	33
TABELA 9. RESULTADOS MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% PARA	34
TABELA 13. RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA PARA O FATOR ESPÉCIE	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL	15
3.2 PAINÉIS DE MADEIRA	17
3.3 PAINÉIS COMPENSADOS	19
3.4 ADESIVOS À BASE DE FORMALDÉIDO E ADESIVOS DE ORIGEM NATURAL	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 OBTENÇÃO DAS LÂMINAS E DO ADESIVO	25
4.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO ADESIVO	25
4.3 MANUFATURA DOS PAINÉIS	26
4.4 AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA RESINA	32
5.2 MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS	32
5.3 FLEXÃO ESTÁTICA	35
5.4 RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO ESFORÇO DE CISALHAMENTO E FALHA DA MADEIRA	38
6. CONCLUSÃO	41
7. REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

Os painéis compensados apresentam uma série de vantagens em relação a outros materiais e até mesmo a própria madeira, as quais destacam-se a alta estabilidade dimensional, excelente resistência mecânica, resistência a rachaduras, possibilidade de utilizar produtos preservativos adicionados a batida de cola, obtenção de painéis de maiores dimensões em relação a matéria prima de origem, utilização de lâminas de menor qualidade para compor o miolo dos painéis, além de menor gasto energético em seu processo de fabricação se comparado a outros produtos (ALMEIDA, 2002; IWAKIRI, 2005; FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010; ALMEIDA, 2011).

Assim, devido as características favoráveis, os painéis compensados são utilizados desde pisos, estruturas, navios, móveis, embalagens até mesmo em instrumentos musicais (BORTOLETTO JUNIOR Apud ALMEIDA 2011).

A grande maioria dos painéis fabricados industrialmente tem seu processo baseado em resinas que levam em sua composição o formaldeído, composto que provoca diversos males a saúde do homem e ao ambiente. Em níveis altos, a emissão de formol, principalmente em ambientes fechados, pode provocar bronquites, enfisemas pulmonares e até mesmo levar ao desenvolvimento do câncer.

Utilizar uma resina natural que não tenha em sua composição o formaldeído se faz uma alternativa válida. A Cola de Soja é mais importante das colas feitas com proteína vegetal e apresenta propriedades de resistências classificada como de uso interno apresenta como maior vantagem, menor custo. Além disso, outros tipos de painéis de madeira, como o OSB (*Oriented Strand Board*) e o MDF (*Medium Density Fiberboard*) vêm ganhando espaço no mercado de painéis. Deste modo é imprescindível que as indústrias de compensados busquem alternativas para tornarem-se cada vez mais competitivas.

Conquistar novos mercados, principalmente internacionais, através da introdução de novas espécies na composição dos painéis ou diferentes resinas que sejam economicamente viáveis, ambientalmente corretas e correspondam as normas vigentes faz-se necessário. Assim, devido à carência de informações e a importância do tema, o objetivo principal deste trabalho foi avaliar as propriedades físico mecânicas de painéis compensados manufaturados com diferentes composições de Pinus e Eucaliptos colados com resina à base de soja em diferentes gramaturas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar as propriedades físico-mecânicas de painéis compensados produzidos com diferentes gramaturas de resina à base de soja e diferentes composições.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Avaliar as propriedades físico-mecânicas dos painéis compensados produzidos com resina a base de soja;
- Avaliar o efeito da gramatura sobre as propriedades físico-mecânicas
- Avaliar o efeito das diferentes composições dos painéis com as espécies de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 FLORESTAS PLANTADAS NO BRASIL

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013) “a cadeia produtiva do setor brasileiro de base florestal associado às florestas plantadas caracteriza-se pela grande diversidade de produtos, compreendendo a produção, a colheita e o transporte de madeira, além da obtenção dos produtos finais nos segmentos industriais de Papel e Celulose, Painéis de Madeira Industrializada e Madeira Processada”.

As florestas plantadas contribuem para a geração de impostos e tributos (R\$ 7,6 bilhões), empregos (4,4 milhões) e bem-estar econômico e social. Fornece matéria-prima para toda a cadeia produtiva do setor florestal, principalmente madeira, que está presente em nosso dia-a-dia muito além do que imaginamos, desde brinquedos, quadros e cadeiras escolares, móveis, alimentos até a produção do aço e produtos químicos (derivados da goma resina) (ABRAF, 2013).

No Brasil o plantio de espécies exóticas teve início em meados da década de 1960 por meio de incentivos do Governo Federal com a introdução do gênero *Pinus*. Atualmente além de suprir a cadeia produtiva, atua como alternativa ao uso de madeiras provenientes de florestas nativas. No ano de 2012 a área ocupada por plantações das principais espécies exóticas cultivadas no país chegou a 6.664.812 ha, sendo que desses 76,6% corresponde à área de Eucaliptos e 23,4% a de *Pinus* (ABRAF, 2013; PRATA, 2006).

Como responsabilidade e proteção ambiental já são uma realidade, a correta gestão das florestas plantadas evita e reduz o desmatamento dos biomas naturais ajudando a preservar a fauna local e atuando como uma importante fonte de fixação de carbono. Além disso, muitos mercados - principalmente internacionais - exigem o uso de certificação florestal, afim de garantir que o produto adquirido seja proveniente de um processo ambientalmente correto, socialmente justo e economicamente viável (ABRAF, 2013).

A cadeia produtiva do setor de florestas plantadas por sua abrangência, abastece vários setores industriais além grande importância sócio- ambiental. A FIGURA 1 ilustra um modelo simplificado de produção florestal (ABRAF, 2013).

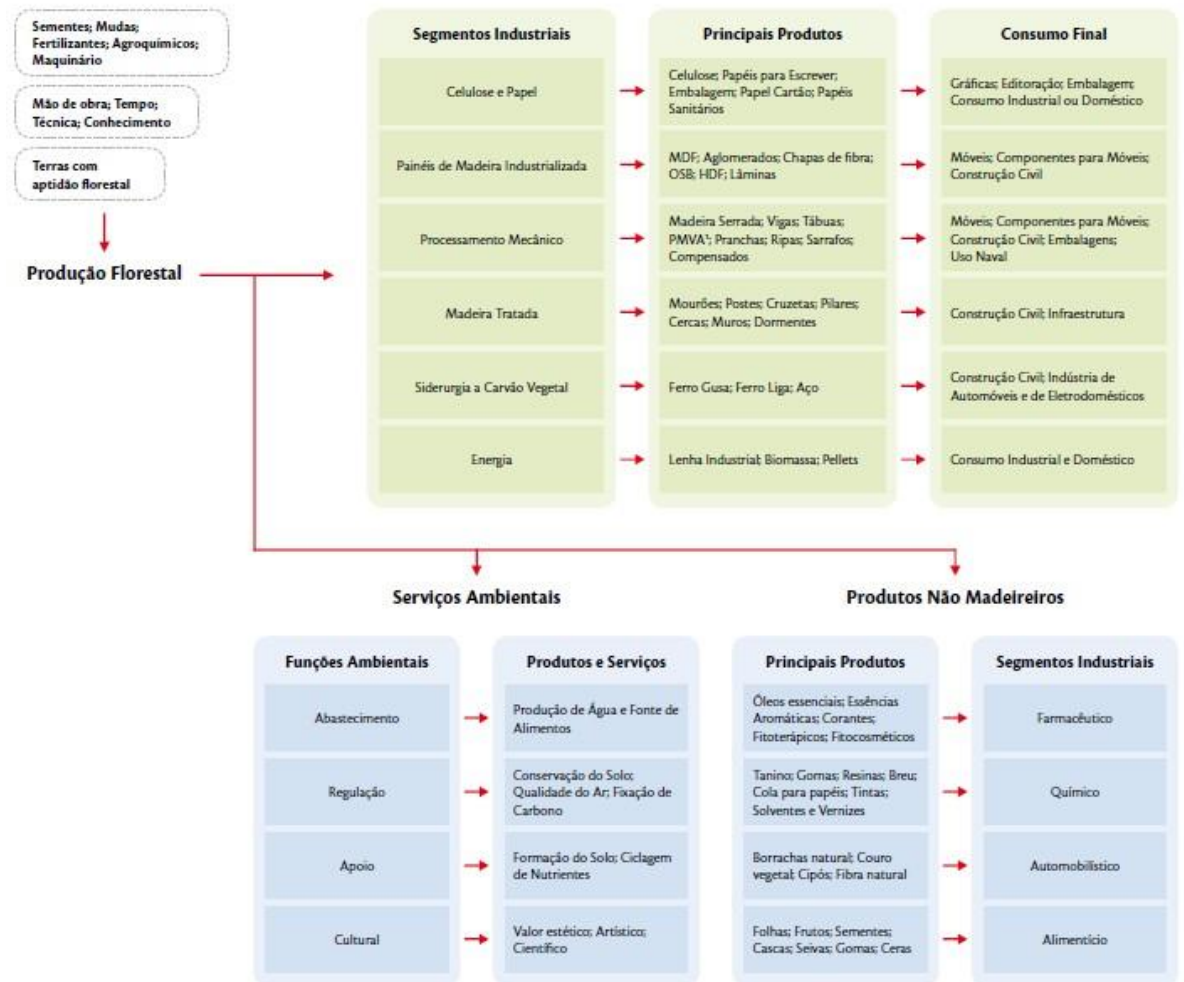


FIGURA 1. MODELO SIMPLIFICADO DA CADEIA PRODUTIVA FLORESTAL. FONTE: ABRAF (2013)

3.2 PAINÉIS DE MADEIRA

Mattos (2008) define painéis de madeira como estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são unidas ou reconstituídas através de aglutinação. São usados para substituir a madeira maciça e outros materiais nos mais diversos usos. Estes painéis estão divididos em compensados laminados, particulados e compostos de fibras de madeira (ALMEIDA, 2011; IWAKIRI, 2005). Um esquema dos produtos compostos de madeira pode ser visualizado na FIGURA 2.

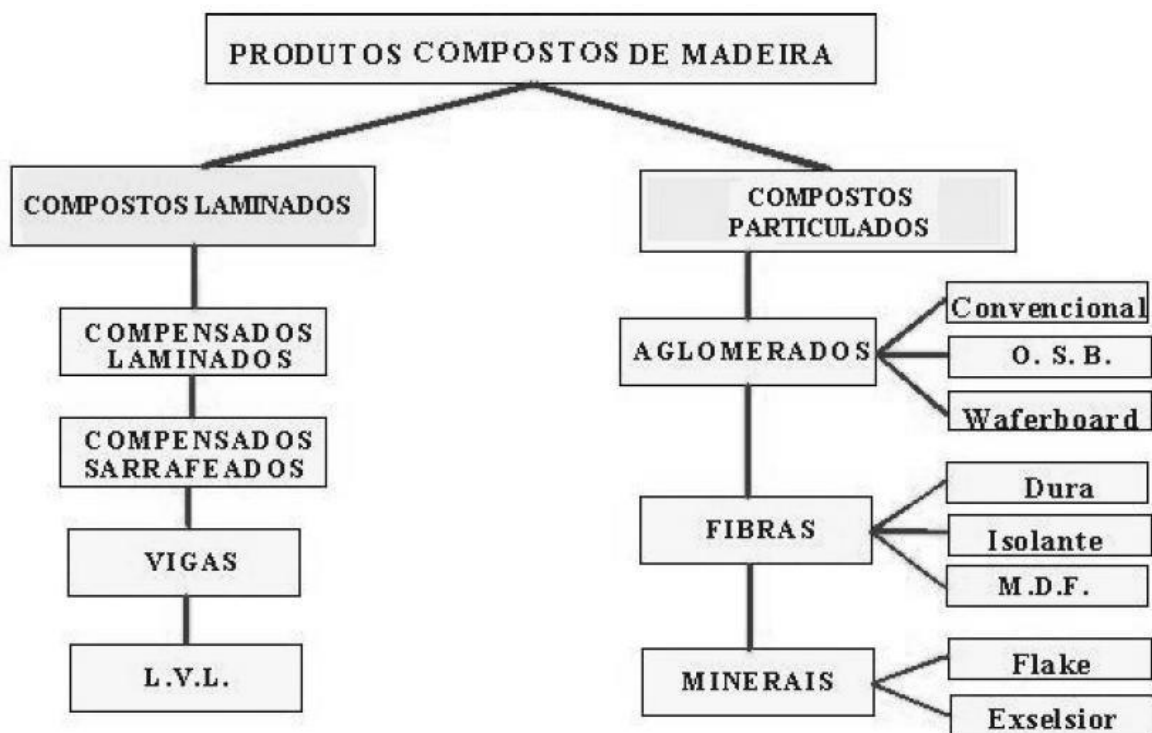


FIGURA 2. CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA SEGUNDO A ESTRUTURA DE FABRICAÇÃO.
 FONTE: IWAKIRI (2005).

Os painéis de madeira apresentam uma série de vantagens no que diz respeito a sua matéria-prima: caráter renovável; disponibilidade, boas propriedades físicas e mecânicas, capacidade de armazenar grandes quantidades de gás carbônico proveniente da atmosfera e demandam menor gasto de energia em todas as fases da cadeia produtiva (produção, logística e instalação) (ELEOTÉRIO, 2000).

No setor de construção civil, uma das mais importantes aplicações para os painéis de madeira, essa matéria-prima é denominada como “material verde” (*green build material*). O primeiro fato para essa denominação advém de que a madeira só utiliza energia da radiação solar para ser concebida – através da fotossíntese – diferentemente de outros materiais como o aço, o concreto, o alumínio ou plástico, obtidos através da queima de combustíveis fósseis (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010).

Nos Estados Unidos, metade da energia gasta para a manufatura de produtos oriundos da madeira vem de biomassa florestal (bioenergia) como casca de árvores, cavacos e subprodutos do processo de fabricação da celulose e papel (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010).

O CORRIM (*Consortium for Research on Renewable Industrial Materials*) calculou o consumo energético e os impactos ambientais causados pela extração, produção de materiais, logística e a construção de casas utilizando diferentes tipos de materiais e processos. O estudo apontou que casas que utilizam processo de fabricação baseadas em estruturas de aço (*steel-frame*) têm cerca de 17% a mais de gasto energético quando comparada com as se baseiam em estruturas de madeira (*wood-frame*). Essa análise indica o potencial energético de produtos madeireiros frente aos outros materiais (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010).

Outro fato muito importante sobre os painéis de madeira é que eles permitem utilizar madeiras com um padrão de qualidade inferior: matéria-prima com presença de nós, rachaduras, toras de menor diâmetro, pois o processo garante um produto livre desses defeitos. Os painéis particulados permitem usar, por exemplo, biomassa florestal e vegetal em sua composição ou resíduos da indústria de celulose e papel (ELEOTÉRIO, 2000).

3.3 PAINÉIS COMPENSADOS

Os primeiros relatos sobre o uso de lâminas de madeira têm origem no Egito, onde a aproximadamente 3000 anos a.C, eram destinadas a confecção de mobílias de luxo (ALBUQUERQUE, 1996). Contudo, foi apenas no início do século XX que a produção e a utilização de compensados em escala industrial deram-se nos Estados Unidos. A partir disto tanto o produto quanto o processo passaram por diversos avanços tecnológicos até chegarem ao que conhecemos hoje. No Brasil, as primeiras indústrias de compensados tiveram o início de suas atividades na década sul do país em 1940 onde a sua principal matéria prima era o Pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*) (PRATA, 2006).

Segundo Kollamn (1975) o compensado é produzido por um número ímpar de folhas laminadas que mediante a ação de resina aglutinante adequada ao seu uso final, de maneira que a compensação de forças é realizada por meio da disposição perpendicular das fibras destas lâminas, colados sob pressão e temperatura.

A literatura aponta diversas vantagens dos painéis compensados em relação à madeira sólida: melhor aproveitamento no processo de laminação em relação à madeira serrada; possibilidade de utilizar toras com menores diâmetro e qualidade, bem como menor densidade; redução da anisotropia da madeira e conseqüentemente maior homogeneidade do produto final além de poder ser produzido com dimensões diferentes da matéria-prima original (ALMEIDA, 2011; PRATA, 2006; WAKIRI, 2005).

O painel compensado também apresenta estabilidade dimensional e propriedades mecânicas superiores ao material de origem, além disso permite o uso de substâncias preservativas contra organismos xilófagos que podem ser adicionados a batida de cola, de usar diferentes espécies de madeira para a formação do painel gerando uma redução de custos, fatores que justificam a ampla utilização deste produto (ALMEIDA, 2011).

Até o ano de 1998 a fabricação de compensados baseava-se principalmente no uso lâminas oriundas de florestas nativas, porém devido à pressão ambiental quanto ao uso dos recursos de florestas nativas e os altos custos de transportes começaram a ser substituídas por lâminas provenientes de florestas plantadas (ALMEIDA, 2011; PRATA, 2006).

Com aplicações que vão da construção civil, móveis, embalagens até formas de concreto, o setor de painéis compensados do Paraná produz mais da metade da madeira compensada produzida no país, sendo responsável por cerca de US\$ 400 milhões em exportações por ano, o que equivale a 30% do total exportado pelo estado, gerando aproximadamente 25.000 empregos diretos (POLZL, 2010).

O processo de fabricação de compensados começa na armazenagem das toras, isto irá contribuir para lâminas de melhor qualidade e rendimento, livre de fendas, mancha azul, ataque de organismos biodegradadores ou bactérias (IWAKIRI, 2005 *apud* ALMEIDA, 2011). Seleccionadas as toras, estas são descascadas, aquecidas e posteriormente laminadas (ou faqueadas).

As lâminas obtidas devem estar em teor de umidade adequado, passando – se necessário – por um processo de secagem. Após, ocorre uma etapa de classificação das folhas torneadas de acordo com suas características. As de melhores propriedades, via de regra, são destinadas a capa e contracapa dos painéis e as de qualidade inferior compõem o miolo. Após essa classificação as lâminas passam por um processo de retirada de defeitos (nós, rachaduras, manchas, etc.) e junção simultâneos, a fim de alcançar as dimensões e qualidades pré-definidas podendo assim passar para as etapas de colagem e prensagem (IWAKIRI, 2005, ALMEIDA, 2011).

Para a formação do painel IWAKIRI *et al* (2013) afirma que o tipo de resina empregado deve ser adequado com o uso final do produto e que a formulação e a gramatura da cola são parâmetros que irão interferir diretamente na qualidade e no custo do processo de colagem.

Ainda segundo IWAKIRI (2005), a resina mais utilizada para painéis destinados a uso interno (como é o caso de pisos engenheirados) é a ureia-formaldeído (UF) devido ao seu menor custo e boa trabalhabilidade. Contudo, devido a questões ambientais e principalmente a saúde humana a resina UF tende a ser substituída por produtos livre de emissão de formol. Em seu trabalho, BOLOGNESI (2010) comenta que mesmo em produtos revestidos, o formaldeído pode ser emitido e causar irritação nas vias respiratórias, olhos e pele das pessoas, sendo este efeito potencializado em ambientes fechados.

As empresas que investirem em formulações de cola que não levem em sua composição o formaldeído terão uma vantagem competitiva frente aos seus concorrentes visto que grande parte dos painéis produzidos no país são para atender a demanda do mercado externo. Em uma análise de mercado feita por MATTOS (2008) em 2005, 74% dos compensados fabricados no Brasil são destinados à exportação. Para os painéis oriundos do pinus, os principais consumidores do produto são Estados Unidos (57%), Reino Unido (13%), Bélgica (7%) e Alemanha (6%) (MATTOS, 2008).

A colagem e prensagem do painel envolvem vários parâmetros que devem ser muito bem definidos e constantemente monitorados. Assim para a implementação de uma nova cola no processo é necessário redefinir de maneira precisa e eficaz todas as variáveis envolvidas no mesmo. Serão afetadas desde as propriedades físico-químicas e a gramatura da cola e todo o ciclo de prensagem, podendo ainda serem adicionadas mais etapas ao processo produtivo, como por exemplo, a pré-prensagem (IWAKIRI, 2005).

A preparação da batida de cola, de modo geral, é feita em um misturador ou bateadeira, dependendo do maquinário disponível de capacidade produtiva da empresa. A formulação desta batida é baseada principalmente na gramatura (g/cm^2) requerida e uso final do produto (qualidade requerida). A aplicação do composto aglutinante pode ser feito, por exemplo, por rolos, *spray*, cortina e extrusão e dependerá basicamente do número de linhas de cola e tipo de equipamento (DE ALMEIDA, 2011; IWAKIRI, 2005).

As características físico-químicas dos adesivos devem ser conhecidas e controladas, pois influenciam diretamente no processo de colagem dos compensados. A TABELA 1, a seguir, descreve tais características (ALMEIDA, 2011; IWAKIRI, 2005).

TABELA 1. DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO ADESIVO

Característica	Função	Consequência
PH	Influência a solidificação da junta de cola	Redução da resistência da linha de cola
Viscosidade	Idade do adesivo	Tempo de estocagem/influencia as condições de espalhamento do adesivo
<i>Gel time</i>	Vida útil do adesivo após seu preparo	Influência do tempo de prensagem dos painéis
Teor de sólidos	Quantidade de sólidos contidos na resina	Atua na formação da linha de cola sendo responsável pela transferência de tensões do sistema madeira - linha de cola - madeira

A montagem do painel é feita imediatamente após a aplicação do adesivo na lâmina e deve ser feita de acordo com a composição pré-estabelecida, sempre levando em consideração o critério de laminação cruzada e número ímpar de camadas. Após este processo deve haver um “tempo de descanso” ou assemblagem que é o período de tempo entre a aplicação do adesivo e o fechamento dos pratos da prensa quente (ALMEIDA, 2011; PRATA, 2006; IWAKIRI, 2005). Para Jankowsky (1980 *apud* ALMEIDA, 2011; PRATA, 2006) se o tempo de assemblagem for menor que o recomendado haverá pouca penetração do adesivo (linha faminta) e se for maior ocorrerá um endurecimento parcial antes da prensagem ocasionando, em ambos os casos, redução de qualidade.

A fim de assegurar uma boa qualidade do processo de colagem do painel, as variáveis do ciclo de prensagem devem ser bem controladas. As principais são:

- ✚ Pressão
- ✚ Temperatura
- ✚ Tempo de prensagem

O tempo de prensagem deve garantir que o centro do painel atinja a temperatura ideal requerida pela resina utilizada e para que também haja mudança da umidade para as bordas do painel; a temperatura é outro fator definido pelo tipo de resina utilizado, que fica na faixa de 95 a 120° C para a resina uréica e de 130 a 150° C para a fenólica; já a pressão deve garantir a transferência do adesivo entre as lâminas além de assegurar o contato adequado dessas lâminas com os pratos quentes da prensa (ALMEIDA, 2011; PRATA, 2006; IWAKIRI, 2005).

Para garantir a qualidade do painel compensado em relação aos seus diversos usos deve-se garantir que suas propriedades físicas e mecânicas atendam aos requisitos exigidos. Segundo Lutz (1971, *apud* ALMEIDA, 2011) as propriedades de maior interesse para a produção e comercialização de painéis compensados são: permeabilidade, contração, massa específica, módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), cisalhamento longitudinal e perpendicular às fibras, tração perpendicular e dureza.

Além de garantir a qualidade de seu produto a empresa também deve estar preocupada com seus custos de produção para assim oferecer o melhor custo-benefício ao consumidor. BALDWIN (1995) afirma que é de suma importância quantificar os custos relacionados a produção de painéis compensados, e num mercado cada vez mais competitivo, esta se torna uma tarefa imprescindível.

Comparando o panorama mundial de quatro tipos diferentes de painéis (aglomerado, MDF, chapa dura e compensado), Mattos (2008) mostrou que apesar de o compensado ainda ser o segundo painel mais consumido no mundo, este vêm perdendo participação no mercado frente aos novos painéis que surgiram nos últimos anos, apresentando uma taxa anual de crescimento de 2,2% no período de 1995-2005, sendo que os painéis de chapa de fibra, MDF e aglomerado apresentaram a taxa de crescimento de 4,2%, 18,5% e 4,2% respectivamente para o mesmo período de estudo, demonstrando assim a importância de se ter um produto competitivo frente aos concorrentes.

3.4 ADESIVOS À BASE DE FORMALDEÍDO E ADESIVOS DE ORIGEM NATURAL

Os adesivos sintéticos são os mais utilizados pela indústria madeireira, devido às suas propriedades de resistência a umidade e ao ataque de organismos xilófagos (OLIVEIRA & FREITAS, 1995).

Os adesivos podem ser classificados de acordo com sua termo-estabilidade. As resinas de origem fenólicas pertencem ao grupo das termo-estáveis, isto é, que possuem capacidade de se solidificar através de reações químicas ativadas pelo calor e/ou catalizadores, resultando assim numa colagem resistente ao calor e a umidade (OLIVEIRA & FREITAS, 1995). As principais resinas de uso industrial são:

- a) Adesivos à base de fenol-formaldeído: classificadas como de uso exterior, requerem altas temperaturas e adição de endurecedores, possui elevada resistência e duração. Entretanto possui alto custo de aquisição;
- b) Adesivos à base de uréia-formaldeído: classificadas como de uso interno. São resistentes à umidade, porém são do tipo que perdem essa resistência quando submetidos a condições de umidade, até mesmo em curtos períodos. Para o processo de colagem utiliza-se temperaturas em torno de 65°C, necessitando de adição de catalisador em sua mistura. São as mais amplamente utilizadas e preferidas pelas indústrias madeireiras;

- c) Adesivos à base de Resorcinol-formaldeído: Semelhantes às colas fenólicas, exceto por curar em temperaturas mais baixas devido a presença do resorcinol. Possuem alta resistência à umidade além de fornecerem elevada resistência estrutural ao material a ser colado. É mais cara que as resinas fenólicas.

Apesar de sua ampla utilização e vantagens comerciais, os adesivos que levam em sua composição o formaldeído oferecem risco à saúde do homem e ao meio ambiente, pois estão presentes em carpetes, divisórias, pisos engenheirados, painéis compensados, fumaça de cigarro, máquinas copadoras entre outros.

SODRÉ *et al.* (2006) avaliaram a qualidade do ar no interior de 50 locais públicos das cidades do Rio de Janeiro e Niterói. Em relação ao formaldeído, os resultados apontaram que a grande maioria desses locais apresentou teores de exposição superiores ao limite recomendado pelo Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional dos EUA, de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Além de seu potencial carcinogênico, o formaldeído pode provocar, em altas concentrações, bronquite, laringite até mesmo pneumonia, além de sintomas frequentes como dores de cabeça, vertigem, falta de ar, tosse e edema pulmonar.

Uma alternativa para minimizar os efeitos nocivos dos adesivos a base de formol é utilizar as colas de origem natural. Utilizadas desde 1500 a.C, os principais adesivos dessa classe são: a cola animal, de peixe, de albumina de sangue, caseína, de soja e adesivos de sangue. Neste trabalho daremos destaque a cola de soja.

A cola de soja se destaca por ser a mais importante das diversas colas oriundas da proteína vegetal. É satisfatória para manufatura de painéis compensados semi-resistentes a umidade. Recomendada para uso interno, esta cola apresenta como principal vantagem, custo consideravelmente mais baixo (OLIVEIRA & FREITAS, 1995).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 OBTENÇÃO DAS LÂMINAS E DO ADESIVO

As lâminas e os ingredientes da batida de cola (resina, farinha, dispersante e anti-espumante) utilizadas neste trabalho foram cedidas por uma empresa de pisos engenheirados localizada na cidade de Curitiba-PR. As lâminas foram esquadrejadas para que tivessem dimensões finais 50 cm x 50 cm.

4.2 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DO ADESIVO

Para a produção dos painéis compensados foi empregado adesivo à base de soja aplicado em cada face adjacente e espalhado sobre as lâminas com o auxílio de espátula.

O teor de sólidos da batida de cola foi obtido através da equação 1.

$$Ts = \left(\frac{P2}{P1} \right) \times 100$$

Onde:

TS = teor de sólidos em %

P1 = peso inicial da resina (g)

P2 = peso da resina após aquecida em estufa (103° C) e resfriada (g)

A viscosidade foi medida através de um viscosímetro do tipo *Brookfield*, que mede a força necessária para girar um disco submerso no líquido, a velocidade constante. O pH obtido com o auxílio de um pHmetro. A análise do pH da resina pode ser visualizada na FIGURA 3.



FIGURA 3. VISCOSÍMETRO DE *BROOKFIELD*.

4.3 MANUFATURA DOS PAINÉIS

4.3.1 SECAGEM E CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS

As lâminas utilizadas para este estudo estavam com teor de umidade próximo a 10%, não havendo neste caso, necessidade de secagem. A classificação foi feita de maneira simples, levando em consideração os defeitos aparentes como nós, manchas e rachaduras. As lâminas que apresentaram ausência ou menor quantidade de defeitos foram destinadas à capa e contra capa dos painéis, já as que apresentaram maior quantidade de defeitos, foram destinadas ao miolo.

Foram manufacturados painéis de cinco lâminas de 2mm cada e com dimensões nominais de 50 x 50 cm. As lâminas de foram dispostas de acordo com a classificação descrita acima.

4.3.2 PROCESSO DE COLAGEM

A formulação da batida de cola utilizada na colagem dos painéis para o presente o estudo, em partes por peso, foi a seguinte: 100 partes de resina, 0,1 partes de antiespumante, 100 partes de farinha e 51 partes de água. Esse adesivo foi preparado com o auxílio de uma batedeira, misturando todos os componentes de forma simples.

Na etapa de montagem dos painéis, a cola foi pesada de acordo com as gramaturas pré-estabelecidas e em seguida distribuída nas lâminas com o auxílio de uma espátula simples até que a aplicação ficasse homogênea. Os painéis foram montados intercalando as lâminas o sentido de suas fibras, de modo que cada lâmina adjacente formasse 90° em relação a outra. Em seguida os painéis tiveram tempo de assemblagem de aproximadamente 10 minutos. O esquema de montagem dos painéis é mostrado na TABELA 2.

TABELA 2. ESQUEMA DE MONTAGEM DOS PAINÉIS COMPENSADOS.

Lâmina	Colagem	Montagens		
Capa	Com cola	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus</i>
Miolo	Com cola	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>
Miolo	Com cola	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>
Miolo	Com cola	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Pinus</i>
Contracapa	Com cola	<i>Pinus</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus</i>

De acordo com o esquema apresentado na TABELA 2, foram feitos para cada montagem 3 painéis de cada gramatura, 45 g/m², 55 g/m² e 65 g/m² totalizando 27 painéis. Para a prensagem dos compensados utilizou-se uma prensa hidráulica disponível no LPM da UFPR. Os parâmetros do ciclo de prensagem estão na TABELA 3.

TABELA 3. CONDIÇÕES DE PRENSAGEM DOS PAINÉIS

Pressão específica	15 kgf/cm ²
Temperatura	110 ° C
Tempo	8 minutos

Depois de prensados os painéis foram encaminhados para sala de climatização em ambiente controlado com temperatura de $20^{\circ} \pm 3$ °C e umidade relativa de 65 ± 5 %, até atingirem massa e temperatura constantes. Estes procedimentos podem ser visualizados nas figuras abaixo (fotos da prensagem e climatização dos painéis). A FIGURA 4 ilustra algumas etapas do processo de colagem.

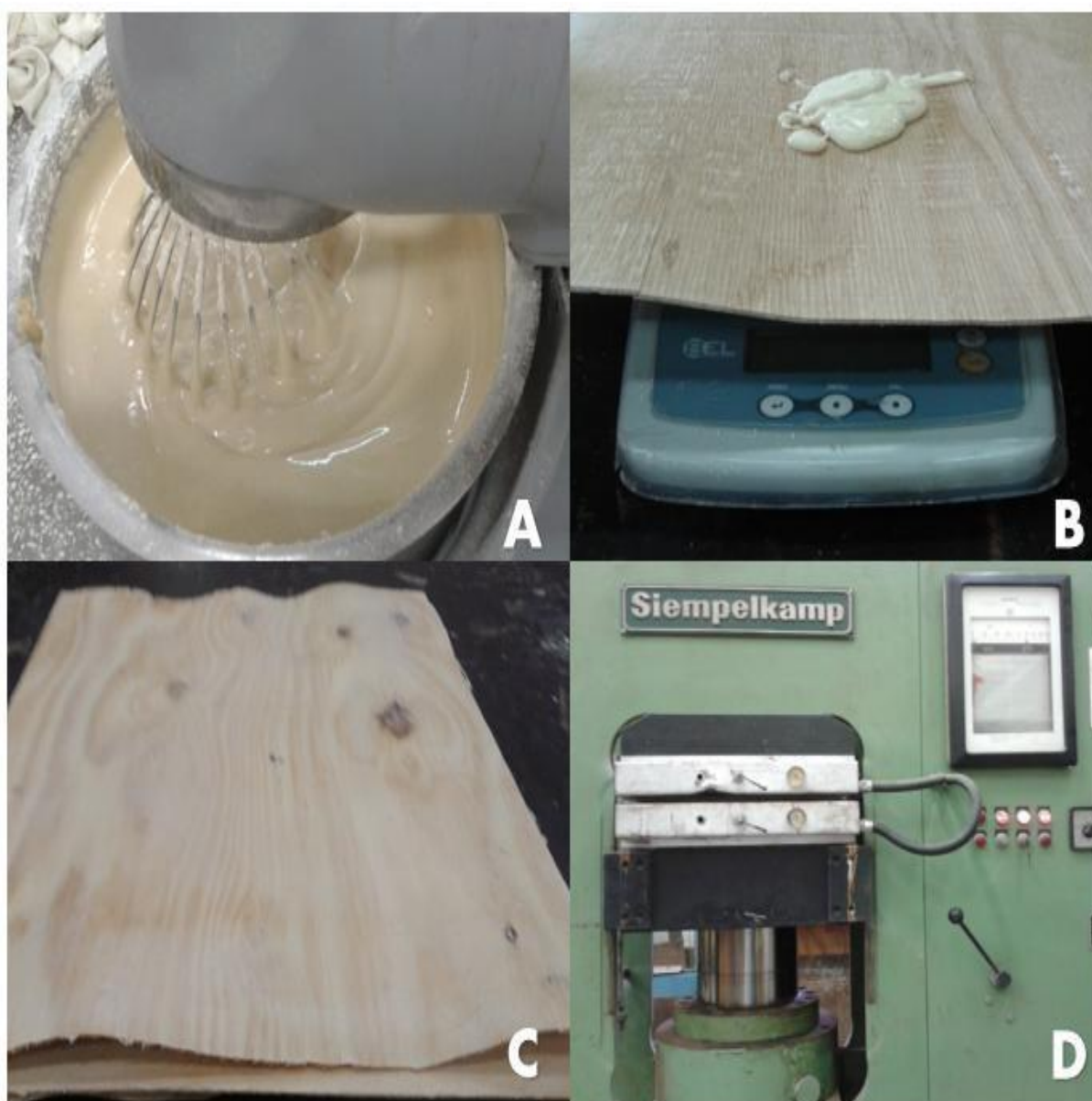


FIGURA 4. ETAPAS DO PROCESSO DE COLAGEM. A) BATIDA DE COLA; B) PESAGEM DA COLA NA LAMINA PARA MONTAGEM DO PAINEL; C) COLA DISTRIBUÍDA NA LÂMINA E MONTAGEM DO PAINEL; D) PRENSA UTILIZADA.

4.4 AVALIAÇÃO DOS PAINÉIS

Depois do período de climatização em estufa os painéis foram esquadrejados para as dimensões nominais de 47 cm x 47 cm com o auxílio de uma serra horizontal no Laboratório de Usinagem da Madeira da UFPR. Em seguida foram retirados corpos-de-prova de cada painel conforme o esquema da FIGURA 3. A TABELA 4 indica como foram obtidos os corpos de prova

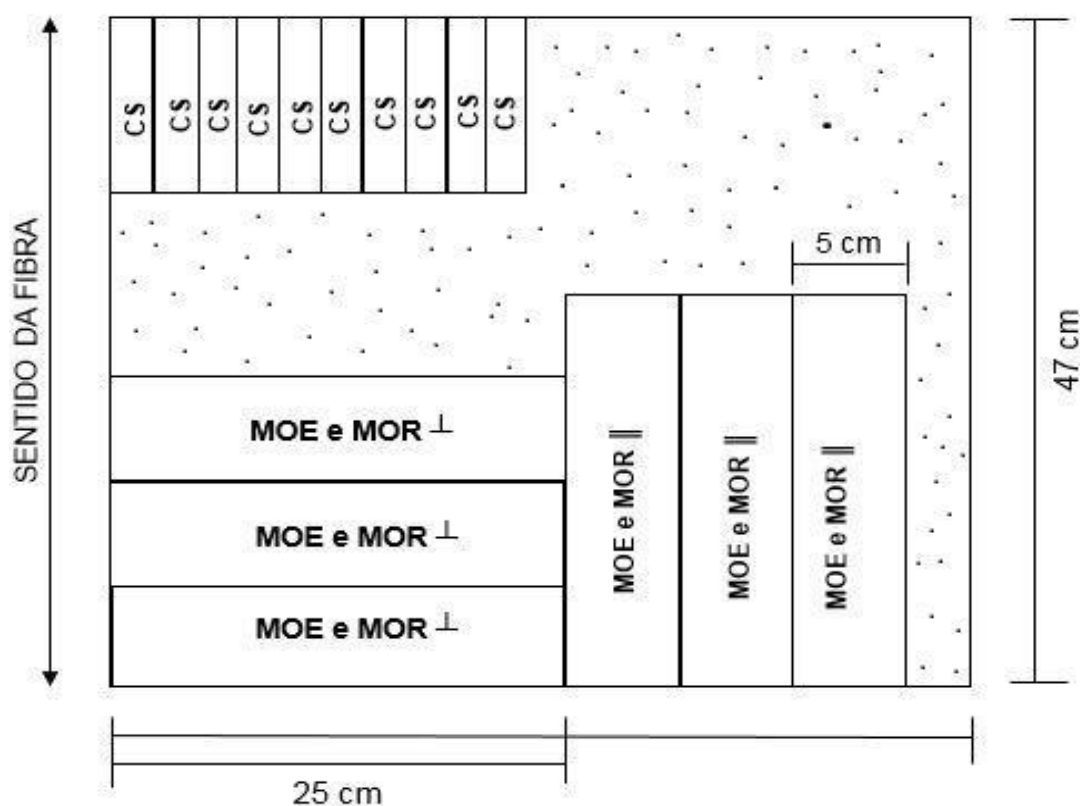


FIGURA 5. ESQUEMA PARA A RETIRADA DOS CORPOS-DE-PROVA DOS PAINÉIS PARA OS ENSAIOS FÍSICO-MECÂNICOS. MOE = MÓDULO DE ELASTICIDADE; MOR = MÓDULO DE RUPTURA; CS = CISALHAMENTO.

TABELA 4. ENSAIO FÍSICO-MECANICOS REALIZADOS E NORMAS ADOTADAS.

Ensaio	Propriedades	Número de corpos-de-prova	Normas
Massa específica	Massa específica aparente	6	E.N 323
Flexão estática	Paralela MOE E MOR	3	E.N 310
	Perpendicular MOE E MOR	3	
Cisalhamento	Determinação da resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento	10	E.N 314

Para o ensaio de cisalhamento (EN 314), foram realizados os seguintes testes: à seco, onde foram utilizados cinco corpos-de-prova e o úmido (24h em água fria) que utilizou os outros cinco corpos-de prova restantes. Na FIGURA 6 pode-se observar os testes realizados.

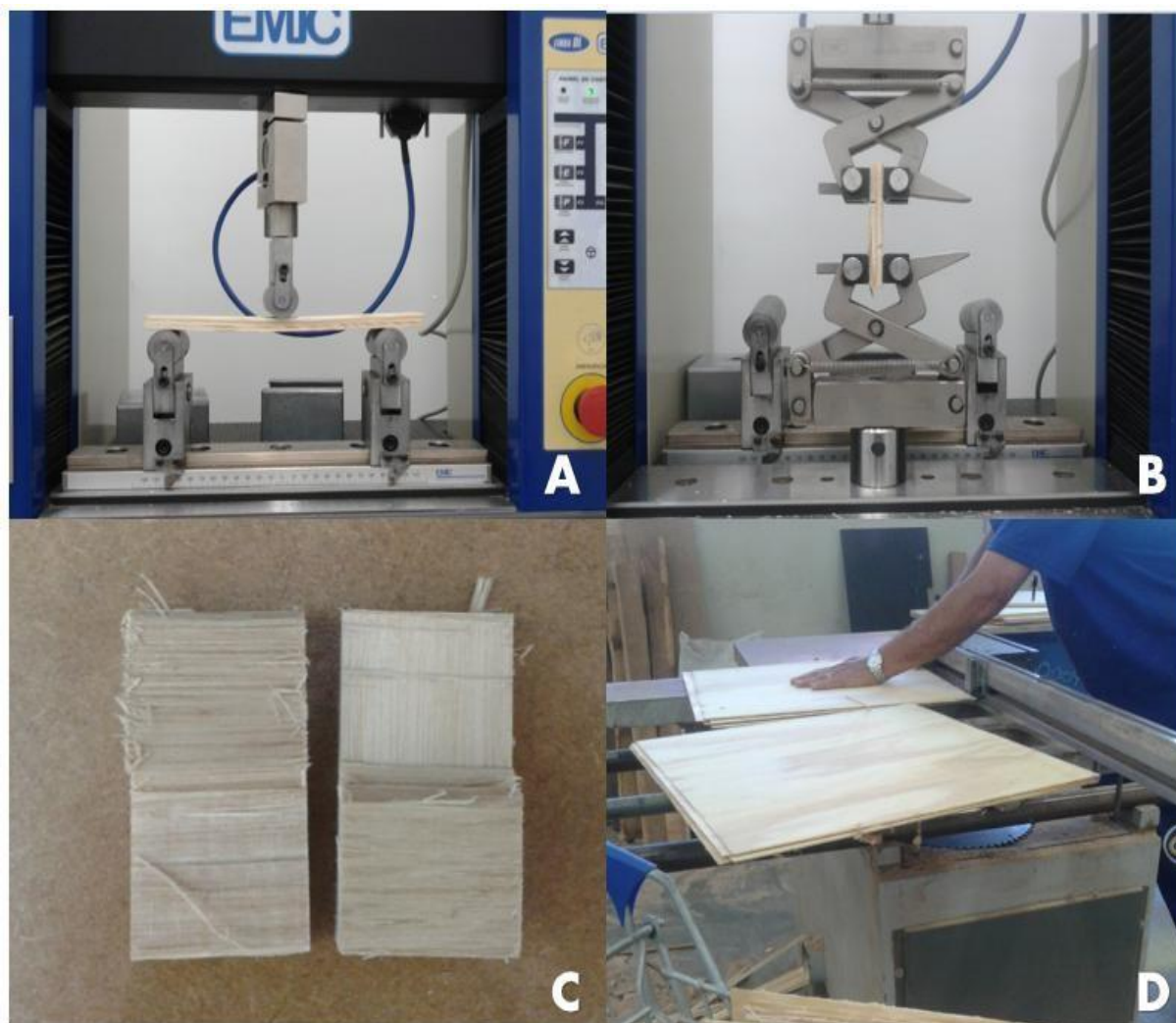


FIGURA 6. ENSAIOS REALIZADOS NOS CORPOS-DE-PROVA. A) ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA; B) ENSAIO DE ESFORÇO CISALHANTE; C) CORPO-DE-PROVA APÓS ENSAIO DE ESFORÇO CISALHANTE; D) CORTE DOS CORPOS-DE-PROVA.

Objetivando avaliar, a gramatura do adesivo e a composição dos painéis, estes fatores foram combinados de modo a formar um arranjo fatorial 3 x 3 dos tratamentos, conforme pode ser visualizado na TABELA 5.

Afim de verificar o efeito dos tratamentos sobre as propriedades analisadas dos painéis, realizou-se uma análise de variância (ANOVA) e em seguida, foi aplicado o teste de comparação de médias (Teste de *Tukey*) com 95% de probabilidade, para identificar as médias que diferiam entre si.

TABELA 5. TRATAMENTOS REALIZADOS PARA A FABRICAÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS.

Tratamento	Gramatura (g/m²)	Composição
1	45	Pinus
2	55	Pinus
3	65	Pinus
4	45	Eucalipto
5	55	Eucalipto
6	65	Eucalipto
7	45	Pinus + Eucalipto
8	55	Pinus + Eucalipto
9	65	Pinus + Eucalipto

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA RESINA

A fim de avaliar as propriedades físico-químicas da resina utilizada neste trabalho, foi realizada sua determinação através dos métodos descritos e seus os valores médios são mostrados na TABELA 6.

TABELA 6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA RESINA.

Característica	Valor
Teor de sólidos (103° C)	85,78%
pH (25°C)	4,30
Viscosidade (25 °C)	145 cP
Densidade <i>Brookfield</i> (25°C)	1,06

Por questões de segredo industrial as características físico-químicas da resina não são divulgadas pelo fabricante, assim a comparação dos resultados deu-se entre as resinas industrialmente mais utilizadas. Segundo Iwakiri (2005), para a resina uréia-formaldeído a viscosidade encontra-se na faixa de 300 à 1000 cP, teor de sólidos entre 64 e 66%, pH na faixa de 7,4-9,0 e densidade entre 1,25 à 1,30 g/cm³. Para a resina de fenol-formaldeído esses valores são de 400 à 800 cP para a densidade, 48 à 51% de teor de sólidos, pH entre 11,5 e 13 e densidade de 1,19 à 1,25 g/cm³.

Desta maneira nota-se através da TABELA 6, que a resina é ácida é possui elevado teor de sólidos, diferentemente das resinas fenólicas apresentadas. A viscosidade por sua vez é muito menor em termos comparativos, no entanto, para a batida de cola tentou-se realizar teste desta propriedade em copo *Ford*8 porém devido à sua alta viscosidade, não houve escoamento.

5.2 MASSA ESPECÍFICA APARENTE DOS PAINÉIS

Os valores médios de massa específica aparente a 12% de umidade, para cada tratamento, são apresentados na TABELA 7.

TABELA 7. RESULTADOS MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% DE UMIDADE.

Tratamento	Massa específica aparente (g/cm ³)
1	0,548 c (6,5)
2	0,579 bc (8,58)
3	0,588 bc (8,14)
4	0,821 a (7,01)
5	0,769 a (12,04)
6	0,778 a (6,62)
7	0,577 bc (5,02)
8	0,628 b (2,6)
9	0,612 b (6,25)

Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Os painéis em que foram utilizadas somente lâminas da espécie *Pinus* (tratamentos 1, 2 e 3) apresentaram valores menores de massa específica aparente quando comparados aos tratamentos que utilizaram apenas lâminas de *Eucalyptus* (tratamentos 4, 5 e 6). Para os painéis que foram manufacturados com *Pinus* e *Eucalyptus* (tratamentos 7, 8 e 9) obteve-se um valor intermediário para esta propriedade. (TABELAS 7 e 8).

TABELA 8. RESULTADOS MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% PARA O FATOR ESPÉCIE

TRATAMENTO	MASSA ESPECÍFICA APARENTE (g/cm ³)
<i>Pinus</i>	0,572 c (8,29)
<i>Eucalyptus</i>	0,789 a (9,13)
<i>Pinus + Eucalyptus</i>	0,606 b (5,96)

Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Almeida (2011) encontrou valor de massa específica média de 0,413 g/cm³ para compensados de *Pinus elliottii* var. *elliotti* x *Pinus caribea* var. *hondurensis* utilizando resina fenólica. A mesma autora cita os valores de referência do Catalogo Técnico nº1 da ABIMCI, onde os valores de massa específica para painéis de *Pinus spp.* variam entre 0,491 e 0,614 g/cm³.

Bortoletto Jr (2003) citado por Iwakiri *et al* (2012) encontrou para 11 espécies do gênero *Eucalyptus* valores de massa específica variando entre 0,560 g/cm³ e 0,770 g/cm³. Já para painéis produzidos com clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* resina uréica Almeida (2003) encontrou valor médio para massa específica igual a 0,661 g/cm³.

Apesar de não haver a informação precisa sobre as espécies utilizadas no presente trabalho (apenas sobre gênero) e dos diferentes parâmetros nas referências supracitadas, pode-se dizer que os resultados encontrados neste estudo são pertinentes aos encontrados na literatura

O resultado do teste média de *Tukey* para massa específica aparente referente ao parâmetro de gramatura utilizados neste estudo podem ser visualizados na TABELA 9 e para o parâmetro espécie na TABELA 8.

TABELA 9.RESULTADOS MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE A 12% PARA O FATOR GRAMATURA

Tratamento	Massa específica aparente (g/cm ³)
45g/m ²	0,648 a (20,1)
55g/m ²	0,659 a (15,37)
65g/m ²	0,659 a (14,54)

Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

De acordo com a TABELA 9 nota-se que não houve diferença significativa entre as massas específicas aparentes para o fator gramatura. Em seus trabalhos Almeida (2002) e Almeida (2011) também não acharam diferenças significativas na propriedade de massa específica para o fator gramatura para painéis produzidos com *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com resina uréica e painéis de *Pinus elliottii* var. *elliotti* x *Pinus caribea* var. *hondurensis* com resina fenólica, respectivamente.

5.3 FLEXÃO ESTÁTICA

Os resultados médios para os ensaios de flexão estática MOR e MOE paralelo e perpendicular são mostrados na TABELA 10.

TABELA 10. RESULTADOS MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E DO MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA

Tratamento	MOR (Mpa)		MOE (Mpa)	
	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular
1	38,47 d (18,63)	24,11 bc (21,82)	5.186,71 e (16,74)	1.960,68 cd (22,8)
2	45,89 cd (18,5)	22,72 bc (26,35)	6.266,17 cde (16,4)	1.921,42 cd (20,52)
3	51,20 bcd (28,67)	22,01 bc (18)	5.734,17 de (28,24)	1.632,61 cd (28,29)
4	59,89 abc (24,24)	36,54 a (21,99)	9.537,37 ab (18,73)	3.672,42 a (25,67)
5	64,80 ab (19,98)	30,06 ab (31,61)	9.758,62 a (26,48)	3.547,99 a (21,1)
6	69,38 a (11,83)	36,37 a (25,17)	9.718,52 ab (13,51)	3.048,20 ab (6,22)
7	59,57 abc (8,55)	19,71 bc (25,44)	7.854,52 abc (7,02)	1.468,76 d (23,35)
8	50,50 bcd (12,89)	29,91 ab (13,48)	7.634,87 bcd (8,63)	2.405,19 bc (11,69)
9	57,99 abc (4,6)	30,70 ab (11,04)	8.069,93 abc (10,19)	2.301,24 bc (24,51)

*MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de elasticidade; Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

Os painéis compensados produzidos integralmente com lâminas de *Eucalyptus* obtiveram os maiores valores médios tanto para MOR quanto MOE paralelos. Podemos notar que esses resultados foram estaticamente superiores quando comparados com painéis produzidos apenas com lâminas de *Pinus* e para os produzidos com lâminas de *Pinus + Eucalyptus*. Os tratamentos 4 e 7 foram os únicos não apresentaram diferença estatística.

Para MOR e MOE perpendicular os maiores valores médios também foram para os painéis produzidos unicamente com lâminas de *Eucalyptus*. Houve diferença

significativa em relação aos painéis produzidos apenas com *Pinus* e em relação aos produzidos com *Eucalyptus* e *Pinus*.

Na flexão estática paralela, para MOR e MOE o melhor resultado foi o tratamento 6 (69,38 MPa e 9758,52 MPa respectivamente). Em relação aos ensaios de MOR e MOE perpendiculares o tratamento 4 foi o que apresentou maiores valores (36,54 MPa e 3672,42 MPa).

Em seu trabalho na avaliação de *Pinus* tropicais e *Eucalyptus*, Iwakiri *et al.* (2012) produziram painéis de cinco lâminas de 2,0 mm coladas com resina uréica com gramatura de 360 g/m², obtiveram para as espécies de *Pinus taeda*, e *Eucalyptus grandis* valores médios de MOR paralelos 72,96 e 94,44 MPa; para o MOE paralelo esses valores foram de 8.541 e 11.618, MPa respectivamente. Em relação à flexão estática perpendicular, para as mesmas espécies, o MOR foi de 32,44 e 43,01 MPa enquanto que para o MOE os valores médios foram de 2.655 e 3.930 MPa. Deste modo os painéis produzidos com resina uréica são possuem melhores propriedades de resistência (MOR) e flexão (MOE) quando ao produzidos neste estudo, onde foi utilizada resina à base de soja.

Almeida (2003) afirma que há uma boa correlação entre MOR e massa específica. Desta maneira, os painéis que apresentaram maior massa específica apresentam maior MOR. Verifica-se portanto que os dados das TABELAS 7 e 10 estão de acordo com a literatura.

A TABELA 11 apresenta os valores médios do teste de *Tukey* para o fator espécie.

TABELA 11. RESULTADOS MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E DO MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA PARA O FATOR ESPÉCIE.

Tratamento	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular
<i>Pinus</i>	44,40 c	22,95 b	5.708,36 c	1.838,24 b
	(28,32)	(21,86)	(21,99)	(24,15)
<i>Pinus</i> + <i>Eucalyptus</i>	64,69 a	42,32 a	9.671,5 a	3.392,87 a
	(19,11)	(26,53)	(19,56)	(21,21)
<i>Pinus</i> + <i>Eucalyptus</i>	56,02 b	26,77 b	7.853,11 b	2.058,40 b
	(11,21)	(24,28)	(8,71)	(28,36)

MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de elasticidade; Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

Nota-se que houve diferença estatística entre os tratamentos para o fator espécie nos resultados de flexão estática paralela. Para MOR e MOE perpendicular não houve diferença estatística entre os painéis produzidos com *Pinus* e os produzidos com *Pinus + Eucalyptus*. Almeida (2003) cita a norma DIN (*Deutsche Institut für Normung*) 68705 para painéis compensados destinados à construção. Esta norma estabelece como requisitos mínimos 40 MPa para o MOR paralelo e 15 MPa para o MOR perpendicular. Assim verifica-se que para todas as espécies (TABELA 11) os valores de MOR atendem os requisitos.

Para MOE o mesmo autor cita a norma DIN 68792 (1979), que estabelece os requisitos para painéis destinados à formas de concreto. Assim para painéis de 5 camadas os requisitos mínimos são para MOE paralela 4000 MPa e para MOE perpendicular 4500. Deste modo, nota-se que para o MOE paralelo todas as espécies atendem os requisitos, entretanto, para o MOE perpendicular nenhuma espécie atingiu o requisito mínimo.

Iwakiri *et al* (2002) encontraram para painéis produzidos com *Pinus taeda* valores médios de MOE e MOR paralelos de 5800 MPa e 58,4 MPa, já para MOE e MOR perpendicular 2839 MPa e 25,3 MPa, respectivamente. Através da TABELA 11, vemos que os compensados de *Pinus* apresentam valores estatisticamente inferiores aos citados pela literatura.

Cabe ressaltar que todos os valores de referência supracitados são para painéis de uso exterior (EXT) ou seja, seria necessário usar resina a apropriada para essa situação, servindo neste caso, apenas para fins de comparação.

Na tabela abaixo (TABELA 12) são mostrados os resultados médios do teste de *Tukey* para o fator gramatura.

TABELA 12. RESULTADOS MÉDIOS DO MÓDULO DE RUPTURA E DO MÓDULO DE ELASTICIDADE À FLEXÃO ESTÁTICA PARA O FATOR GRAMATURA.

Tratamento	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Paralelo	Perpendicular	Paralelo	Perpendicular
45g/m ²	51,86 a	26,79 a	7.526,19 a	2.367,29 a
	(29,29)	(31,19)	(28,62)	(48,11)
65a/m ²	53,73 a	27,56 a	7.948,88 a	2.594,87 a
	(23,11)	(27,15)	(27,25)	(31,38)
65a/m ²	59,52 a	29,69 a	7.840,87 a	2.327,35 a
	(20,42)	(28,24)	(26,51)	(31,04)

MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de elasticidade; Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

Nota-se novamente que para este parâmetro não houveram diferenças significativas entre os tratamentos, podendo assim optar pelo tratamento de menor gramatura, gerando um ganho econômico.

5.4 RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA AO ESFORÇO DE CISALHAMENTO E FALHA DA MADEIRA

Os resultados obtidos para o ensaio de resistência da linha de colagem ao esforço de cisalhamento (RLCEC) realizados nas condições seco e úmido são apresentados na TABELA 13.

TABELA 13. RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA.

Tratamento	Seco		24h Água fria	
	Cisalhamento (Mpa)	Falha (%)	Cisalhamento (MPa)	Falha (%)
1	1,36 b (27,33)	16,6	0,68 a (58,27)	6,93
2	1,32 b (27,27)	24,18	0,61 a (44,23)	1,92
3	1,35 b (20,09)	33,08	0,90 a (21,38)	2,83
4	1,71 ab (38,53)	19,32	0,82 a (54,36)	3,15
5	1,90 a (27,26)	26,57	0,93 a (48,03)	4,43
6	1,57 ab (19,62)	18,93	0,89 a (29,32)	2,38
7	1,41 ab (32,32)	20,91	0,83 a (32,49)	2,4
8	1,66 ab (28,98)	9,91	0,63 a (56,7)	1,08
9	1,38 b (20,91)	16,42	0,66 a (42,5)	1,17

Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Em relação ao ensaio seco, o melhor resultado foi para o tratamento 5 (1,90 MPa com 26,57% de falha na madeira) sendo este o melhor resultado também para o ensaio úmido (0,93 MPa e 4,43% de falha na madeira). Também para os dois ensaios o pior resultado foi o tratamento 2, apresentando valores de 1,32 MPa e 24,18% de falha na madeira para o ensaio à seco e 0,61 MPa e 1,92% de falha da madeira para o ensaio úmido.

Os resultados de RLCEC para o ensaio à seco podem ser considerados bons já que para todos os tratamentos foram atendidos os requisitos mínimos da norma, o mesmo não acontece para o ensaio úmido. Os requisitos da norma europeia EN 314-2 podem ser visualizados na TABELA 14.

TABELA 14. VALORES MÉDIOS DE REFERÊNCIA DA LINHA COLA E FALHA NA MADEIRA EM PAINÉIS COMPENSADOS.

Cisalhamento (MPa)	Falha na Madeira (%)
$0,2 \leq CS < 0,4$	≥ 80
$0,4 \leq CS < 0,6$	≥ 60
$0,6 \leq CS < 1,0$	≥ 40
$CS \geq 1,0$	Sem exigência

FONTE: EN 314-2 (1993)

Adaptado ALMEIDA (2011)

Para a resina uréica Almeida (2003) encontrou para painéis compensados de cinco camadas confeccionados com *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* valores médios de cisalhamento de 1,87 MPa e 1,65MPa para o teste seco, onde esses valores referem-se a dois tratamentos utilizando clones diferentes, valores próximos aos encontrados neste trabalho para o gênero Eucaliptos (média de 1,73 MPa).

Para melhores resultados para o teste úmido, é necessário estudar a possibilidade adição, por exemplo, outro tipo de resina ou extensor a fim de melhorar as propriedades do adesivo. Cabe ressaltar também que devido ao fato da batida de cola utilizada neste trabalho para confeccionar os painéis adquirir uma elevada viscosidade podendo, deste modo, gerar uma linha de cola não ancorada (penetração insuficiente nas lâminas) contribuindo assim para os resultados insatisfatórios do teste úmido.

Os valores do teste de médias de *Tukey* realizados para a variável RLCEC e a interação do fator gramatura é mostrado abaixo (TABELA 15)

TABELA 15. RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA PARA O FATOR GRAMATURA.

Tratamento	Seco		24h Água fria	
	Cisalhamento (Mpa)	Falha (%)	Cisalhamento (Mpa)	Falha (%)
45g/m ²	1,49 a (34,91)	19,04	0,78 a (47,74)	4,21
55g/m ²	1,63 a (31,2)	20,75	0,73 a (53,53)	2,57
65g/m ²	1,43 a (20,90)	22,51	0,81 a (32,68)	1,68

Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

Analisando o fator gramatura observa-se que não houveram diferenças significativas entre os tratamentos tanto para o ensaio seco quanto para o ensaio úmido, onde o melhor resultado foi novamente –para o *Eucalyptus*. Isto reflete num benefício econômico, visto que optar por uma linha de cola com menor gramatura, resultara em resultados estatisticamente equivalentes ao se usar gramaturas mais elevadas.

Para o fator espécie, os valores do teste de médias de *Tukey* pode ser visualizado na TABELA 13.

TABELA 10. RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA LINHA DE COLA PARA O FATOR ESPÉCIE.

Tratamento	Seco		24h Água fria	
	Cisalhamento (MPa)	Falha (%)	Cisalhamento (Mpa)	Falha (%)
<i>Pinus</i>	1,34 b (24,66)	25,12	0,73 ab (43,02)	3,57
<i>Eucalyptus</i>	1,73 a (30,24)	21,55	0,88 a (43,95)	3,4
<i>Pinus + Eucalyptus</i>	1,49 b (28,96)	15,76	0,71 b (43,74)	1,57

Médias seguidas da mesma letra são estatisticamente iguais pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

Iwakiri *et al.* (2012) encontraram para painéis produzidos com resina fenólica e compostos de 5 camadas de *Eucalyptus saligna*, *Pinus caribaea var. caribaea*, e intercalando as duas espécies valores de tensão de ruptura médios de 2,34 MPa, 1,61 MPa e 1,19 MPa respectivamente, obtidos para o teste fervura do cisalhamento da linha de cola. Os valores estatisticamente superiores comparados aos encontrados no presente estudo deve-se, principalmente, ao fato de Iwakiri *et al.* (2012) utilizarem uma resina classificada como de uso externo, a qual confere maior resistência ao compensado.

Os bons resultados das propriedades avaliadas para o *Eucalyptus*, podem ser atribuídas ao fato desta espécie possuir uma resistência elevada. Quando comparado ao gênero *Pinus*, o Eucalipto possui maior densidade, isto é, menos espaços vazios em sua estrutura, o que dificulta a penetração do adesivo. Deste modo, o *Pinus* deveria apresentar melhor desempenho na linha de cola (por ser uma espécie mais porosa), o que não ocorreu no presente estudo.

6. CONCLUSÃO

Diante os resultados dos experimentos realizados com painéis confeccionados com lâminas de *Pinus* e *Eucalyptus* e colados resina à base de soja, apresentados e discutidos, pode-se concluir que:

- A massa específica aparente à 12% de umidade apresentou os valores médios de 0,572 g/cm³ para os painéis manufacturados somente com lâminas de *Pinus*; 0,789 g/cm³ para os manufacturados somente com lâminas de *Eucalyptus* e 0,606 g/cm³ para os manufacturados com as duas espécies. Esses valores estão próximos aos encontrados na literatura para painéis fabricados com os mesmos gêneros e com diferentes resinas (ureica e fenólica);
- Ainda para a massa específica aparente não foram observadas diferenças estatísticas entre os valores médios encontrados em relação ao fator gramatura. Este resultado mostrou-se compatível com a literatura consultada;
- Nos ensaios de flexão estática, os valores médios encontrados para o MOR e MOE paralelo e perpendicular foram estatisticamente superior para os painéis produzidos somente com gênero *Eucalyptus* quando comparado as demais composições. Os valores encontrados para os ensaios de flexão estática apresentaram valores estaticamente inferiores em relação aos encontrados na literatura para painéis fabricados com outras resinas;
- O fator gramatura não teve afeito sobre as propriedades de resistência (MOR) e flexão (MOE) dos painéis;
- Os resultados do teste de resistência de linha de colagem para o ensaio seco, todos os tratamentos foram superiores ao valor exigido pela norma, no entanto para o ensaio úmido nenhum tratamento atingiu os resultados exigidos pela referida norma;
- Os melhores resultados para o teste de cisalhamento foram para os painéis produzidos com o gênero *Eucalyptus*. Para esse ensaio novamente não ouve influência do fator gramatura sobre as propriedades dos painéis;

- A cola utilizada pode ser classificada como de uso interior, e para melhores resultados se faz necessário estudar possibilidades de adicionar componentes à batida de cola que melhorem suas propriedades, aproveitando seu potencial como produto livre da emissão de formaldeído.

7. REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário Estatístico ABRAF 2013 ano base 2012/ABRAF**. Brasília, 2013. 148 p. Disponível em <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/3887>. Acesso em: 28 ago 2014.

ALBUQUERQUE, C.E.C. **Laminação: da madeira dos sarcófagos à moderna indústria**. Revista da Madeira 1996; 5(29):38-40.

ALMEIDA, Natalie Ferreira de. **Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus elliotti* var. *elliotti* x *Pinus caribea* var. *hondurensis* para a produção de lâminas e manufatura de compensados**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-20122011-085649/pt-br.php>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

ALMEIDA, Renato Rocha. **Potencial da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* para a produção de lâminas e manufatura de painéis compensados**. 2002. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-19082002-151109/>>. Acesso em: 2014-11-24.

BALDWIN, Richard F. (Ed.). **Plywood and veneer-based products: manufacturing practices**. 3. ed. Universidade da Califórnia: Miller Freeman Books, 1995. 388 p.

BOLOGNESI, Lúcio. **Quantificação de formaldeído em extrato aquoso obtido da emissão de painéis de madeira por espectrofotometria acoplada à injeção em fluxo**. 2010. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Departamento de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/26473/Dissertacao_Mestrado_Lucio_Bolognesi_2010.pdf?sequence=1>. Acesso em: 27 ago. 2014.

ELEOTÉRIO, Jackson Roberto. **Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis MDF de Diferentes Densidades e Teores de Resina**. 2000. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência, Departamento de Ciência e Tecnologia de Materiais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2000. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11149/tde.../jackson.pdf>. Acesso em: 01 out. 2014.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (Eua) (Org.). **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. Madison: General Technical Report Fpl, 2010. 508 p. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf>. Acesso em: 20 out. 2014

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira Reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005, 247 p.

IWAKIRI, Setsuo et al. **Produção de Painéis Compensados Fenólicos com Lâminas de Madeira de *Sequoia sempervirens***. *Floresta e Ambiente*, Floresta e Ambiente, v. 2, n. 20, p.264-270, 30 jun. 2013. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/floram/v20n2/a15v20n2.pdf>>. Acesso em: 05 set. 2014.

IWAKIRI S, Del Menezzi CHS, Laroca, C, Venson I, Matoski, S.S. **Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* com resina fenol-formaldeído**. *Cerne* 2002; 11(2): 092-097

IWAKIRI, Setsuo *et al.* **Produção de compensados de *Pinus taeda* e *Pinus oocarpa* Schiede com Diferentes Formulações de Adesivo Uréia formaldeído**. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 3, p.371-375, jun. 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v26n3/a13v26n3>>. Acesso em: 24 jul. 2014.

KOLLAMNN F.P, Kuenzi EW, Stamm AJ. **Principles of wood science and technology II: Wood based materials**. Berlin: Springer-Verlag; 1975. v. 2, 703 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.

NENNWITZ, Ingo et al. **Manual de Tecnologia da Madeira**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2008. 354 p

OLIVEIRA, J. T da S.; FREITAS, A. R de. **Painéis à Base de Madeira**. Departamento de Engenharia e Construção Civil – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995. Disponível em <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00149.pdf>. Acesso 25 Nov 2014.

POLZL, Willian Boreli et al. **Perfil Produtivo Das Empresas De Madeira Compensada No Estado Do Paraná. *Árvore***, Viçosa, v. 34, n. 1, p.189-196, fev. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n1/v34n1a20.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2014.

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

SIMON, Gustavo Lopes; MÜLLER, Cláudio José. **Análise de Custos em uma Empresa Fabricante de Papéis Especiais**. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 9., 2013, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro: Cnge, 2013. p. 2 - 18. Disponível em: <<http://www.excelenciaemgestao.org/pt/edicoes-antteriores/ix-cneg/anais.aspx>>. Acesso em: 24 out. 2014.

SODRÉ, E. D.; CORRÊA, S. M. **Principais Carbonilas no Ar de Locais Públicos no Rio de Janeiro. *Química Nova***, Rio de Janeiro, Vol. 31, N. 2, 249-253, 2008

VIEIRA, Michel Cardoso; BRITO, Edvá Oliveira; GONÇALVES, Fabricio Gomes. **Evolução Econômica do Painei Compensado no Brasil e no Mundo. *Floram: Floresta e Ambiente***, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p.277-285, 30 set. 2012. Trimestral. Disponível em: <<http://www.floram.org/files/v19n3/v19n3a03.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2014.