

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCIANE PAES TORQUATO

**CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS MDF COMERCIAIS  
PRODUZIDOS NO BRASIL**

CURITIBA  
2008

LUCIANE PAES TORQUATO

**CARACTERIZAÇÃO DOS PAINÉIS MDF COMERCIAIS  
PRODUZIDOS NO BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador:  
Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Co-orientadores:  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Ghislaine Miranda Bonduelle  
Prof<sup>o</sup>. Dr. Carlos Eduardo Camargo de Albuquerque

CURITIBA  
2008

## DEDICATÓRIA

- 1 *Magrinha, feinha e bem lourinha*  
*No hospital Osvaldo Cruz*  
*O seu pai é o 1º a segurá-la,*  
*No colo ele a conduz.*
- 2 *Era bem frio o dia*  
*Visita quase não tinha*  
*Aquela choradeira*  
*Nem o médico descobria.*
- 3 *Ligeiro vai crescendo e mudando*  
*Mais sempre lourinha*  
*Deixando de ser feia*  
*E ficando cada vez bonitinha.*
- 4 *Aos seus 5 anos de idade*  
*Colocamos no prezinho*  
*Parecia que ia bem*  
*Logo mostrou mal vontade.*
- 5 *Nos seus 7 anos já passou direto*  
*Na escola apresentou um teatro*  
*Coisa mais linda!*  
*Foi um espetáculo.*
- 6 *Terminou o primário*  
*Falando pra professora,*  
*“Não quero estudar não gosto da escola,*  
*ninguém vai me obrigar”*
- 7 *A professora fala com a mãe*  
*A mãe começa a agradar*  
*Trabalho perdido*  
*“Não quero é estudar”*
- 8 *Um belo dia fazendo tarefa*  
*Assistindo televisão bem distraída*  
*Parece nada pensava*  
*Naquela boa vida*
- 9 *Aparece na porta o frei Wilmar,*  
*Com carinho e dedicação*  
*O que você está fazendo?*  
*“Assistindo televisão”*
- 10 *Ele mesmo brincando*  
*Menina toma jeito*  
*Como você pode fazer a tarefa*  
*Assistindo televisão?*
- 11 *O certo para você*  
*É não fazer uma coisa dessas*  
*Ou assista a TV*  
*Ou faça a sua tarefa.*
- 12 *Isto pra ela foi uma lição*  
*Com o estudo, nunca mais*  
*Deu-me trabalho*  
*Cuidando bem as tarefas*  
*Até quebrar este galho.*
- 13 *Logo entrou no ginásio*  
*Termina tudo direto*  
*Chegou no segundo grau*  
*Tudo o que faz é correto*
- 14 *É muito responsável*  
*Entrego a Deus todo dia*  
*Em nome de Jesus Cristo,*  
*Nossa mãe a Virgem Maria.*
- 15 *Rezando sempre o terço*  
*Com Deus eu quero falar,*  
*Para que ele abençoe*  
*Pra ela assim continuar.*
- 16 *Entrego ao Pai e ao Filho Jesus Cristo*  
*O E. Santo com sua iluminação,*  
*Sempre ela continue*  
*Sem dar-me preocupação*
- 17 *Esta é nossa caçula*  
*Todos temos muito amor*  
*Criou-se muito sadia*  
*Foi Deus que a abençoou*
- 18 *Terminei os seus versinhos*  
*Com amor e gratidão*  
*Te carreguei em meu ventre*  
*Carrego agora no coração.*
- 19 *Deixo a você estes versos*  
*Não vá se emocionar*  
*Um pouco de sua infância*  
*Você deve recordar.*
- “A minha mãe.”
- Meu Poema, escrito por ela, Maria Azevedo Torquato (in memoriam), a quem dedico.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, a cada instante, a Deus que trilhou o meu caminho e que conduz meus passos.

Aos meus pais, Maria Azevedo Torquato e Zariel Paes Torquato, que me deram além da vida, os princípios de honestidade, determinação, paciência e respeito ao próximo.

Aos meus amados irmãos Riva, Cristovão, Raquel, Rozana e Lucinei, meus maiores exemplos de persistência e vitória.

A minha cunhada Marta Regina pela confiança e apoio e aos meus sobrinhos, Christian, Cristiano, Lucas, Guilherme, Alice e Luciano pelo simples fato de existirem em nossas vidas.

Ao meu querido Carlos Eduardo, pelo seu companheirismo, pelo seu carinho em todos os momentos e a sua família por acreditarem nos meus sonhos.

A minha madrinha Dulce Tormena, pelo seu exemplo de coragem e de solidariedade ao próximo.

Ao Prof<sup>o</sup> Setsuo Iwakiri, meu Orientador e mestre, agradeço pelo seu excelente direcionamento e paciência, principalmente nos dias mais difíceis. Ao Prof<sup>o</sup> Jorge de Matos, que foi excepcional na ajuda com os ensaios e análise dos resultados, a Prof<sup>a</sup> Ghislaine Bonduelle por sempre me lembrar que nunca podemos desistir, ao Prof<sup>o</sup> Camargo por aceitar a co-orientar o trabalho, mesmo sem muitos detalhes. A Prof<sup>a</sup> Graciela Muniz pelo carinho e por me indicar o caminho a seguir após o mestrado e ao Prof.<sup>o</sup> Umberto Klock pelo apoio de sempre. Todos eles, além de mestres e mentores neste projeto, foram principalmente meus amigos e acreditaram em mim.

Ao Sr. Ademir, Rosilani, Silvia e Cláudia pela intensa e dedicada colaboração para execução dos ensaios e nos resultados. Também ao Prof. Ricardo e Sr. Vitor pelo trabalho na marcenaria.

A ABIMCI, especialmente ao Sr. Jeziel Adam de Oliveira, Ione Re, e a minha amiga e fiel parceira de trabalho Juliana Afonso Pinto, pelo inesgotável suporte e pela compreensão na minha ausência.

A ABIPA e a Sra. Rosane Donatti, por abrirem as portas as suas empresas associadas.

A Empresa Tafisa Brasil S/A, principalmente ao Diretor Industrial Sr. Gavinho, Luciana Rocio, Ricardo e Karla Rujanowski por acreditarem no projeto e na importância de qualificar novos profissionais.

A Empresa Berneck S/A Painéis e Serrados, a Graça Berneck, Lenoir e Jean, que não somente ajudaram, mas foram fundamentais na conclusão deste trabalho.

A Universidade Federal do Paraná, por ser a base da minha formação profissional e por me receber em mais uma etapa de estudos durante o mestrado.

E alguns, entre meus queridos amigos, que de alguma forma estiveram presentes e colaboraram, mesmo quando não perceberam o quanto foram essenciais nessa trajetória, Christian König, Eduardo Bittencourt, Viviane e Miryan Borges, Karin Maffini, Mariângela Maffini e Ideval Ferrarini, Kleber, Marina Mieko, M<sup>a</sup> Silvia, Joelton Gomes, Grasielly, Karine, Camile, Valcineide, Dionéia e Anderson. Paulo Basaglia, Márcia Quaquarelli e Ticianha Haertel, mesmo distantes, sei que torceram por mim. E aos demais amigos, por serem simplesmente “meus amigos”, muito obrigada.

## RESUMO

Os painéis de fibras de média Densidade (MDF) são formados a partir de  *fibras de madeira*, caracterizados pela sua estrutura altamente homogênea e isotrópica, devido ao seu processo de produção. A produção desses painéis está crescendo significativamente no Brasil e conseqüentemente aumentou o volume do produto disponibilizado no mercado. O objetivo principal deste trabalho foi de caracterizar os painéis MDF produzidos no Brasil, para tentar obter um padrão destes painéis fabricados por diferentes indústrias do país, e que são colocados no mercado como similares nos quesitos preço e produto. Foi realizada uma caracterização com base nas Normas Européias EN, as quais são referências para as normas ABNT aplicadas nos laboratórios internos das principais empresas produtoras deste produto. A avaliação das propriedades físico-mecânica foi feita através dos ensaios de ligação interna, flexão estática, densidade, umidade, perfil de densidade, inchamento e absorção de água. A amostragem foi realizada em três painéis de mesma espessura por empresa, entre as duas espécies que estão sendo mais utilizadas como matéria-prima no Brasil, Pinus e Eucalipto. Com exceção dos valores encontrados para Ligação Interna, todos os valores médios das propriedades físicas e mecânicas dos painéis MDF de 15 mm atenderam aos requisitos exigidos pelas normas mais utilizadas pelos fabricantes brasileiros, a EN 622-5 (2006) e a Norma NBR 15316-2 (2006). Esses painéis podem ser utilizados conforme sua classificação para uso estrutural em condições secas.

Palavras Chaves: Madeira. Painéis de Fibra. MDF. Caracterização.

## ABSTRACT

The boards of medium density fiber (MDF) are formed out of wood fibre parts, characterised by their highly homogenous and isotropic structure, caused by the production process. The production of these boards is growing significantly in Brazil and consequently increased the volume of product in the market. The objective was to characterize technical specifications of medium density fiberboards (MDF) produced in Brazil to get a standard of these boards which are placed on the market with similar boards in prices and product. The characterization was based on European standards, which are reference for the Brazilian standard applied in MDF company's laboratories. The physic and mechanical evaluation was performed through the laboratorial tests internal bond, static bending, density, humidity, density profile, water absorption and dimensional stability. Three samples were taken per company, including pine and eucalypt boards with the same thickness. Results showed compatibility for 15 millimetres boards between European (EN 622-5:2006) and Brazilian (NBR 15316-2:2006) standards for almost all studied properties, having just the internal bond as exception. Thus, these boards are able to be used according to their classification for structural and dry condition purposes.

Key Words: Wood, Fibreboard, MDF, Characterisation.

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1	– FIBRAS DE MADEIRA.....	20
FIGURA 2	– COLCHÃO DE FIBRAS PARA PRENSAGEM .....	21
FIGURA 3	– PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE FIBRAS DE MADEIRA .....	25
FIGURA 4	– PRINCIPAIS PRODUTORES DE MDF E FUTURAS INSTALAÇÕES .....	39
FIGURA 5	– DIMENSÕES DO PAINEL MDF UTILIZADO COMO PADRÃO.....	46
FIGURA 6	– CORPOS-DE-PROVA .....	49
FIGURA 7	– CORPOS-DE-PROVA SENDO CLIMATIZADOS.....	50
FIGURA 8	– PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA COLETA DE DADOS.....	51
FIGURA 9	– EXECUÇÃO DOS PRINCIPAIS ENSAIOS.....	53
FIGURA 10	– EQUIPAMENTO DPX 200 PARA MEDIR O PERFIL DE DENSIDADE.....	54
FIGURA 11	– PERFIL DE DENSIDADE C7.....	59
FIGURA 12	– PERFIL DE DENSIDADE C8.....	59
FIGURA 13	– PERFIL DE DENSIDADE C9.....	59
FIGURA 14	– PERFIL DE DENSIDADE A1.....	59
FIGURA 15	– PERFIL DE DENSIDADE A2.....	60
FIGURA 16	– PERFIL DE DENSIDADE A3.....	60
FIGURA 17	– ENSAIO DE LIGAÇÃO INTERNA .....	64
FIGURA 18	– AMOSTRAS DE LI APÓS ENSAIOS.....	65

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1	– CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA.....	18
TABELA 2	– CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS DE FIBRAS.....	21
TABELA 3	– PRINCIPAIS REQUISITOS DA NORMA EN 622-5:2006.....	32
TABELA 4	– PRINCIPAIS REQUISITOS DE ACORDO COM A ABNT NBR 15316-2:2006.....	32
TABELA 5	– REQUISITOS GERAIS – PROPRIEDADES BÁSICAS.....	33
TABELA 6	– BRASIL: MDF – BALANÇO DE OFERTA E DEMANDA (1.000 m <sup>3</sup> ).....	38
TABELA 7	– CONTROLE DE EMPRESAS E MATERIAIS.....	47
TABELA 8	– CONTROLE DE ENSAIOS – PROPRIEDADES BÁSICAS..	49
TABELA 9	– VALORES MÉDIOS DO TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS POR EMPRESA E ESPÉCIE.....	55
TABELA 10	– VALORES MÉDIOS DAS DENSIDADES DOS PAINÉIS POR EMPRESA E ESPÉCIE.....	56
TABELA 11	– VALORES MÉDIOS DO PERFIL DE DENSIDADE DOS PAINÉIS POR EMPRESA E ESPÉCIE.....	58
TABELA 12	– ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA	60
TABELA 13	– FLEXÃO ESTÁTICA PARALELA E PERPENDICULAR – VALORES DE MOE E MOR.....	62
TABELA 14	– LIGAÇÃO INTERNA.....	64

**LISTA DE SIGLAS**

ABIMCI	– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE
ABIPA	– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA
ABNT	– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
BNDES	– BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL
EN	– EUROPEAN NORM
EPF	– EUROPEAN PANEL FEDERATION
FAO	– ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO
IBGE	– INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INMETRO	– INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL
ITTO	– INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION
MAPA	– MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO
MDF	– MEDIUM DENSITY FIBERBOARD
SBS	– SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.2	JUSTIFICATIVA.....	14
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1	PAINÉIS DE MADEIRA.....	16
2.1.1	Painéis de fibras de madeira.....	18
2.1.2	Histórico dos painéis de fibras de madeira.....	19
2.1.3	Definição e classificação de painéis de fibras de madeira.....	20
2.1.4	Matéria prima.....	22
2.1.5	Processo de produção de painéis de fibras.....	23
2.1.6	Painéis de fibras de média densidade (Medium Density Fiberboard – MDF).....	26
2.1.7	Características e aplicações dos painéis MDF.....	27
2.1.8	Requisitos normativos de propriedades físico–mecânicas para os painéis MDF.....	30
2.1.9	Pesquisas relevantes sobre painéis MDF.....	33
2.2	MERCADO.....	35
2.2.1	Mercado nacional de MDF.....	36
2.2.2	Fabricantes de MDF no Brasil.....	38
2.2.3	O mercado nacional de MDF em relação ao cenário internacional.....	44
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODO</b> .....	45
3.1	DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA A COLETA DE MATERIAIS.....	45
3.2	PLANO DE TRABALHO.....	46
3.3	NORMAS UTILIZADAS.....	48
3.4	PLANO EXPERIMENTAL.....	48
3.4.1	Descrição dos ensaios físico-mecânicos de painéis MDF.....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	55
4.1	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE.....	55
4.2	DENSIDADE DOS PAINÉIS.....	56
4.3	PERFIL DE DENSIDADE DOS PAINÉIS.....	57
4.4	PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS – ABSORÇÃO DE ÁGUA E	

	INCHAMENTO.....	60
4.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS.....	62
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	67
6	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	69
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70
	<b>ANEXOS</b> .....	76

## 1. INTRODUÇÃO

A concentração empresarial da produção e do comércio internacional deve se aprofundar, principalmente nos segmentos mais sofisticados da cadeia produtiva, tais como painéis tipo MDF (*Medium Density Fiberboard*), celulose e papel, móveis e produtos de maior valor agregado de madeira, de acordo com o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA (2007). Em termos da distribuição espacial da produção, embora os países desenvolvidos continuem a ser os principais produtores, algumas nações em desenvolvimento irão ampliar sua participação nas vendas globais, tais como China, Brasil, Malásia, Indonésia, Chile e outros.

Essa informação é confirmada pelo estudo do BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL - BNDES (2008), intitulado Painéis de Madeira no Brasil: panorama e perspectivas, que afirma que setor de painéis de madeira apresenta forte dinamismo, no mundo e, em especial, no Brasil. A produção brasileira de painéis, em 2005, foi de 7,7 milhões de m<sup>3</sup>, um aumento de 9,5% ao ano desde 1995. Esse mercado está passando por mudanças, em função dos seguintes fatores: busca de alternativas à madeira maciça; modernização tecnológica do parque fabril, que proporcionou a oferta de novos produtos (MDF, OSB) e a melhoria da qualidade (a evolução do aglomerado para MDP); redução dos juros e melhoria da renda, que deram forte impulso à construção civil e ao setor de móveis, ambos consumidores de painéis de madeira.

O contexto retratado acima é uma realidade no Brasil, principalmente em relação ao painel MDF, que está caracterizando uma forte expansão do mercado e em grandes volumes. Somente em 2007, as cinco empresas produtoras no país foram responsáveis pela fabricação de aproximadamente 1,88 milhões m<sup>3</sup> deste produto. Esses mesmos fabricantes estão ampliando suas unidades de produção e contarão com novos concorrentes no mercado ainda em 2008 e 2009. São 6 novas empresas confirmadas que estão implantando ou com projetos de novas instalações industriais de MDF e há indícios de uma sétima empresa que irá produzir o painel no norte do Brasil.

A evolução do mercado para um painel de alto valor agregado, fabricado por empresas de grande porte e em grandes volumes, chamou atenção para o fato de que, provavelmente, esses produtos são disponibilizados no mercado com especificações iguais, respeitando as normas vigentes, com preços similares, mas com origem em processos produtivos com parâmetros diferentes, desconhecidos do consumidor final. Essa situação pode ter como consequência painéis MDF com características físicas e mecânicas bastantes diferenciadas e ofertadas no mercado como o mesmo produto.

Analisando esta evolução mercadológica, chegou-se a conclusão que será essencial para as indústrias de painéis, neste caso de MDF, investirem em estudos e inovações para que este produto e seus fabricantes permaneçam no mercado de forma competitiva.

Essa linha de análise foi a motivação para o desenvolvimento desse trabalho que focou o aspecto comercial, ao delimitar que seria realizada a caracterização dos Painéis MDF comerciais produzidos no Brasil, sem levar em consideração os parâmetros do processo produtivo dos fornecedores, que são desconhecidos dos consumidores em geral, mas considerando os requisitos mínimos que são estabelecidos por normas, neste caso as Normas Europeias que são bases da normatização brasileira para painéis de fibras de madeira.

## 1.1 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi determinar e caracterizar propriedades físico-mecânicas dos Painéis de MDF, tipo standard, cru, de 15 mm de espessura, que são produzidos e comercializados no Brasil pelas principais empresas deste segmento. A proposta deste trabalho foi a de contribuir para uma padronização de qualidade dos painéis de fibras de média densidade no mercado nacional.

Os objetivos específicos foram:

- ✓ Avaliar as propriedades físico-mecânicas e de qualidade dos painéis MDF, com as mesmas especificações, produzidos pelas indústrias brasileiras;
- ✓ Avaliar as propriedades físico-mecânicas do painel MDF, com mesmas especificações dimensionais produzidos com madeira de pinus e eucalipto;
- ✓ Avaliar os resultados das propriedades físico-mecânicas dos painéis MDF com base nas Normas Europeias (EN) e entre as diferentes empresas produtoras, através da aplicação do método da análise estatística ANOVA e teste de Tukey para comparação entre os resultados médios dos produtos das empresas.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Este estudo foi motivado a partir de uma grande evolução de mercado, envolvendo o painel MDF, que está visível no rápido aumento de oferta em volume do produto e em expansão de unidades produtivas. Esse contexto sugere que também está aumentando o aspecto de competitividade e é fundamental para as empresas que produzem o MDF, e interessados no segmento, que invistam em P&D, inovação industrial e inteligência competitiva, entre outros focos importantes ao desenvolvimento.

A Caracterização dos Painéis de MDF, de uma mesma especificação, e o comparativo entre as duas principais espécies utilizadas para sua fabricação no Brasil deverá sugerir o início da busca de uma qualidade com o padrão brasileiro para este produto. Os resultados também poderão ser utilizados como referência aos novos fabricantes que poderão nivelar seus produtos no padrão nacional.

A proposta de determinação da qualidade brasileira para o MDF é de mostrar o caminho que viabilizará a competitividade para as empresas nacionais e de segurança ao consumidor final. Mesmo respeitando as diferenças de cada produtor, poderá ser criado um padrão médio como referência de qualidade do MDF a ser conhecido e comercializado. Essa referência deve assegurar ao cliente que, as

mesmas especificações e os preços similares, também estarão correspondendo a características físico-mecânicas aproximadas e satisfatórias e não as comprovadas discrepâncias de resultados, verificados em ensaios de laboratórios. Espera-se, portanto, indicar parâmetros que levarão a uma maior homogeneidade do produto nacional mesmo que ele seja oriundo de diversas fontes de produção no país. Produtos com menor variabilidade significam processo previsível e isto é garantia de qualidade do produto perante o consumidor final.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 PAINÉIS DE MADEIRA

Segundo Iwakiri (2005), a partir dos diversos elementos de madeira, com formas e dimensões variadas, podem-se gerar novos produtos de madeira através da sua reconstituição, utilizando métodos e processos adequados para cada tipo de produto e finalidade de uso. Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva.

Essa definição é reforçada de acordo com a visão do BNDES (2008), que descreve os painéis como estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos. Esse tipo de produto substitui a madeira maciça em diferentes usos, como na fabricação de móveis e pisos.

Os painéis surgiram, principalmente, para atender a uma necessidade gerada pela escassez e pelo encarecimento da madeira maciça (BNDES,2008).

Realmente, outros autores, como Gay *et al* (2001) retratam o surgimento dos painéis de madeira através da necessidade de inovar a aplicação e o uso da madeira como matéria-prima. Os painéis de madeira surgiram como consequência da busca, feita pelo homem, por novos meios de utilizar e aproveitar a madeira, explorando ao máximo o potencial desse material. Esse fato é apresentado fortemente na história, quando a madeira em tora passa a ser transformada em lâminas e posteriormente reconstituída em painéis compensados:

“Os carpinteiros pouco a pouco adquiriram um *know-how* e definiram as regras da sua arte. No início, pressionados pelas qualidades e defeitos da madeira que estavam à sua disposição, eles obtiveram, graças a um equipamento melhor,

seções adaptadas para o emprego e a realização de peças com aparências mais belas. Por outro lado, os marceneiros progrediram no conhecimento do material e melhoraram a sua técnica. Tal como os seus clientes, eles queriam mobiliário melhor "trabalhado", peças com um aspecto mais elaborado e refinadas. O aparecimento de lacas e vernizes impôs às partes visíveis da utilização de tábuas sem defeitos, impecável, ou com características especiais. A partir desta preocupação estética nasceu a idéia de "placas", ou seja, com uma fina camada de madeira de 0,5 a 5 milímetros de espessura, "colocada" na superfície de uma prancha de menor qualidade, seja madeira maciça ou reconstituída, para dar uma aparência melhor, mais decorativa. O jogo de cores de madeira, o *design* atraente dos veios, as singularidades contribuíram para elevar a estética. A multiplicidade das lâminas era limitada apenas devido a diversidade das espécies. Os painéis laminados foram, de início, reservados para mobiliário, gabinetes ou marchetaria, e para o arranjo e decoração do interior das casas. A sua fina espessura em comparação a madeira maciça, representa uma economia em relação as essências raras e preciosas". (GAY, P. *et al.* 2001)

Ainda de acordo com Iwakiri (2005), desde o início da produção de painéis compensados no final do século XIX, inúmeros tipos de painéis de madeira foram surgindo até o momento, sempre com a preocupação em busca de novos produtos com melhor relação custo/ benefício, para aplicações específicas a que se destinam.

Os principais tipos de painéis de madeira são detalhados na Tabela 1 conforme classificação feita por Maloney (1986) e citados no Wood Handbook (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999), chamadas nessas referências como Compósitos a Base de Madeira.

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DOS PAINÉIS DE MADEIRA

<b>Material a Base de Lâminas</b> Compensado Painéis de lâminas Paralelas (Laminated veneer lumber -LVL) <i>Parallel-laminated veneer (PLV)</i>
<b>Laminados</b> Vigas laminadas Materiais <i>Overlayed</i> Compósitos madeira – e não madeira
<b>Material Compósito</b> Painéis de fibras celulósicas Painéis de fibras duras ( <i>Hardboard</i> ) Painéis de partículas <i>Waferboard</i> <i>Flakeboard</i> Painéis de partículas orientadas (Oriented strandboard - OSB) <i>COM-PLY</i>
<b>Painéis de Colagem Lateral (Edge-glued panel – EGP)</b> <i>Lumber panels</i>
<b>Componentes</b> Vigas (I-beams) <i>T-beam panels</i> <i>Stress-skin panels</i>
<b>Compósitos Madeira - Não Madeira</b> Painéis de Fibra de madeira - plásticos <i>Inorganic-bonded composites</i> Fibra de madeira–fibra agrícola

**FONTE:** Adaptado de FOREST PRODUCTS LABORATORY - WOOD HANDBOOK (1999).

### 2.1.1 Painéis de fibras de madeira

Com os avanços tecnológicos havidos na indústria de madeiras, mundialmente, existe uma variedade de painéis de madeira para os mais diversos usos e aplicações atendendo a praticamente todo tipo de mercado. Entre esta gama de painéis estão aqueles formados a partir de  *fibras de madeira*, caracterizados pela sua estrutura altamente homogênea e isotrópica, devido ao seu processo de produção. São os *Painéis de Fibras de Madeira* que, em função da utilização de fibras de madeira individualizadas e com disposição aleatória em seu plano, oferecem grandes vantagens na homogeneidade das propriedades.

Estes painéis se dividem de acordo com a densidade e o método de produção gerando dois tipos básicos de painéis de fibras de madeira, que são os “*prensados*” e os “*não – prensados*”, sendo que cada um desses tipos são subdivididos apresentando painéis com particularidades e aplicações diferenciadas.

O Painel de fibra de madeira é um material manufaturado a partir do refinamento das fibras lignocelulósicas, sendo que a adesão primária se processa através de entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira como a lignina (MALONEY,1996).

### 2.1.2 Histórico dos painéis de fibras de madeira

Inicialmente os painéis de fibra de madeira começaram a ser utilizados como pesados papéis que serviam como divisórias internas de casas no Japão, no século VI A.C. .A tecnologia contribuiu para o desenvolvimento desse produto e, em 1958, Lyman, nos Estados Unidos, desenvolveu a primeira patente em painéis de fibras. A partir desse marco foram desenvolvidas outras patentes para painéis de fibras e suas variações, bem como sendo desenvolvidas formas de produção e equipamentos. Em 1931 foi desenvolvido o equipamento desfibrador “*Asplund*” na Suécia, através do método contínuo de desfibramento a alta temperatura e pressão, que se baseia na utilização das propriedades termoplásticas da matéria-prima lignocelulósica e muito utilizado em função das vantagens que oferece (IWAKIRI, 2005).

O início de produção de painel de fibra no Brasil foi em 1955, e a produção era voltada para painéis isolantes e chapas duras. Atualmente o Brasil tem uma participação significativa na produção mundial de painéis de fibras, com destaque na produção de “MDF” (IWAKIRI, 2005).

### 2.1.3 Definição e classificação de painéis de fibras de madeira.

O termo “painéis de fibras” inclui o painel de chapa-dura, o painel de média densidade (MDF), e o painel de isolamento. Para se obter compostos de fibras, primeiramente devem ser quebradas as ligações entre as fibras de madeira (Figura 1). A fórmula mais simples é moer as fibras por atrito através da ação de discos. A moagem, ou refinamento, como é chamado geralmente, pode ser aumentado por água, cozimento a vapor, ou tratamentos químicos. Cozinhar a lignocelulose enfraquece as ligações da lignina entre as fibras celulósicas. Em consequência, as fibras são separadas mais facilmente e geralmente menos danificadas do que as fibras processadas por métodos secos. Os tratamentos químicos, geralmente alcalóide, são usados também para enfraquecer as ligações da lignina. Todos estes tratamentos ajudam a aumentar a qualidade da fibra e reduzir exigências de energia, mas também podem reduzir o rendimento (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).



FIGURA 1 - FIBRAS DE MADEIRA

FONTE: FOREST PRODUCTS LABORATORY - WOOD HANDBOOK (1999)

O painel de fibra normalmente é classificado pela densidade e pode ser feito por processos seco ou úmido. Os processos secos são aplicáveis às placas com densidade elevada (*hardboard*) e densidade média (MDF). Os processos úmidos são aplicáveis às chapas duras de altas densidades e ao painel de isolamento que é de baixa densidade. O método de produção pode ser realizado com a aplicação ou não da etapa de prensagem. A Tabela 2 apresenta resumidamente os principais tipos de painéis de fibras de madeira.

TABELA 2 - CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS DE FIBRAS

Tipo	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Não Prensados</b>	
1. Painéis Isolantes (semi-rígido)	0,02 a 0,15
2. Painéis Isolantes (rígido)	0,15 a 0,40
<b>Prensados</b>	
1. Painéis de Média Densidade (MDF)	0,50 a 0,80
2. Painéis de Fibras Duras	0,80 a 1,20
3. Painéis de Alta Densificação	1,20 a 1,45

FONTE: IWAKIRI (2005).

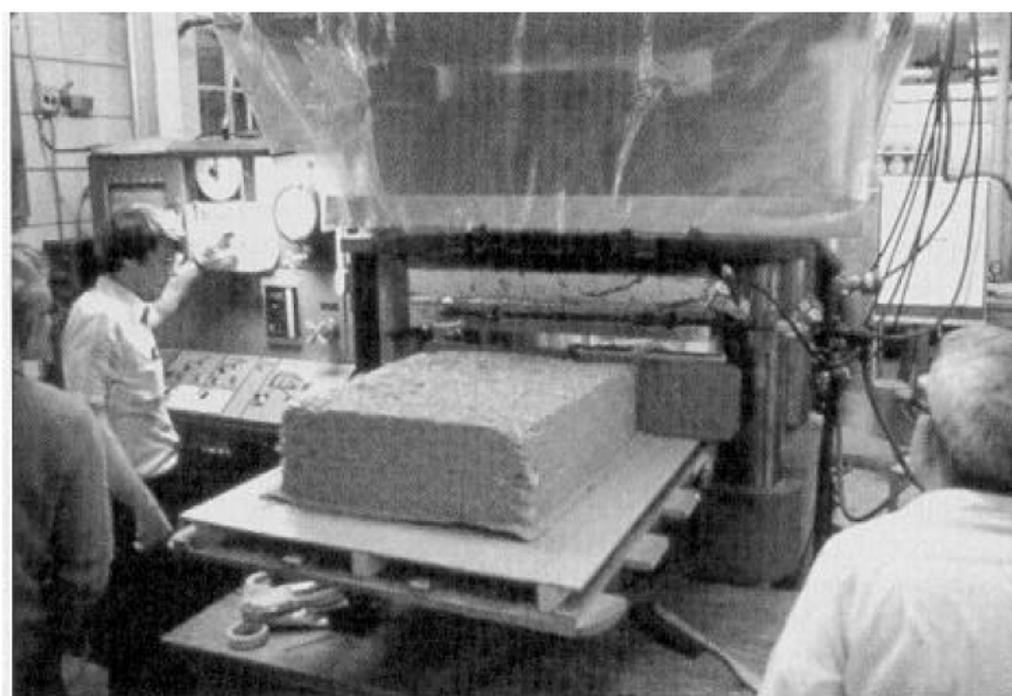


FIGURA 2 - COLCHÃO DE FIBRAS PARA Prensagem  
FONTE: CHOW, P., BAJWA, DILPREET SINGH (1997).

#### 2.1.4 Matéria – prima

Iwakiri (2005), descreve que para a obtenção de fibras podem ser utilizadas madeiras na forma de toras com diâmetro acima de 50 mm, ou como em resíduos de madeira resultantes de outros processos de transformação, como costaneiras, pontas e aparas, rolo-resto de laminação e outros resíduos de exploração florestal. Em menor proporção (até 15%) também podem ser utilizadas a serragem e a casca para produção de painéis de fibras duras.

Outros materiais também podem ser utilizados no processo, como resíduos agrícolas, bambu, fibras de casca de coco, no entanto estão sujeitos a alguns fatores como, a disponibilidade, condições climáticas, manuseio, transporte entre outros.

No caso da principal matéria-prima, a madeira, ela pode ser tanto de coníferas como de folhosas. Com preferência para aquelas que possuem paredes celulares finas, por facilitarem o desfibramento, apresentando maior área de contato e contribuindo para o desenvolvimento de um número maior de ligações do tipo pontes de hidrogênio, ainda mais fortes. A escolha pela espécie depende do produto final e de sua aplicação. As coníferas são bem utilizadas, por exemplo, para produção do MDF em função de sua coloração clara, é menos densa e tem fibras mais longas com parede celular mais fina, já as folhosas são mais utilizadas para painéis isolantes e chapas duras, pois são espécies com fibras mais curtas e de parede celular mais espessa, na maioria das vezes mais densas. Mas também é possível a mistura de espécies, como na Europa onde algumas empresas misturam 80% de conífera, *pinus*, e 20% de folhosas como a castanheira. No Brasil as empresas estão fabricando painéis mistos em que as principais espécies são *pinus* e *eucaliptos* em diversas proporções, uma das proporções mais utilizadas na mistura é de 70% de fibras de *pinus* com 30% de fibras de *eucalipto* conforme especificações de fabricantes.

É importante lembrar que no Brasil os painéis de fibras são 100% produzidos a partir de madeira de florestas plantadas. Os setores que fazem uso da madeira

oriunda de florestas plantadas estão em franca expansão. O setor de painéis apresenta taxas de crescimento de 25% nos últimos sete anos. A Associação Brasileira da Indústria de Madeira de Painéis de Madeira - ABIPA (2008) revelou que o setor espera até 2010, aumento da capacidade instalada atual de seis milhões de metros cúbicos, para aproximadamente 10 milhões de metros cúbicos anuais (REVISTA REFERÊNCIA, 2008). Ainda segundo a ABIPA, existem hoje no País cerca de 500 mil hectares de florestas plantadas, sendo 270 mil hectares de reservas naturais mantidas pelas empresas do setor de painéis de madeira.

Em relação à utilização de *eucalipto* no Brasil é importante ressaltar que nos últimos anos essa espécie tornou-se valorizada, principalmente na fabricação de painéis, como MDF, mas já foi uma madeira muito depreciada. Segundo Arnas (REVISTA REFERÊNCIA, 2008), atualmente os mercados internos estão preparados para trabalhar com *eucalipto* e a cadeia produtiva também se desenvolveu. Arnas, citado na Revista Referência (2008), também afirma, que existe hoje bastante oferta de *eucalipto*, mesmo porque existem no Brasil mais florestas de *eucalipto* que de *pinus* e *teca*.

No caso da matéria-prima para os Painéis de Fibra de Média Densidade, no Brasil, Belini (2007) afirma que no período de 1997/2002 o país baseou-se exclusivamente na madeira de *pinus*, já no período 2003/2006 a madeira de *eucalipto* foi utilizada em 17% da produção, atingindo 23,1% partir de 2006, indicando uma crescente tendência da participação da madeira de *eucalipto* na produção nacional de painéis MDF.

#### 2.1.5 Processo de produção de painéis de fibras

O processo de fabricação dos painéis de fibras é apresentado abaixo de forma resumida e referente às etapas essenciais a essa produção. Essa descrição foi elaborada pelo autor através do modelo produtivo da empresa francesa ISOROY – Casteljaloux (TORQUATO, 2004), do Grupo Sonae:

Após o descascamento, as toras passam por um picador para a geração de cavacos. Com a irregularidade dimensional dos cavacos, os maiores são separados por peneiras, e retornados para picadores. A partir daí, os cavacos são encaminhados para um ciclone separador de pó e em seguida destinados a um silo, que armazena um volume suficiente para 18 a 24 horas de operação. Antes de serem destinados ao processamento, os cavacos passam por um detector e separador de metais, pois a presença de partículas metálicas pode causar problemas operacionais.

A próxima etapa é o pré-tratamento dos cavacos, onde são amolecidos para facilitar a operação do desfibrador para a formação da polpa (suspensão de fibra e água) e reduzir seu consumo energético. Este processo pode ser hidráulico, térmico ou químico, com ou sem pressurização, onde os cavacos devem estar ou ser umedecidos entre 40 a 60% de umidade (referido ao peso da madeira seca). Estes procedimentos não são necessários quando as fibras, já consideradas como polpa, são obtidas por um processo abrasivo, onde no início da linha de produção as toras descascadas são pressionadas contra grandes rebolos abrasivos num meio aquoso. No pré-tratamento químico, os cavacos são colocados num digestor com sulfito, hidróxido de sódio ou cal. No processo térmico, os cavacos de madeira são cozidos sob uma atmosfera de vapor d'água, ou estes são umedecidos e aquecidos diretamente em reservatórios fixos ou rotativos. Isso resulta numa polpa de fibras mais resistente, flexíveis e com maior propriedade aglomerante, formando painéis mais rígidos.

As fibras podem ser obtidas em desfibradores mecânicos, através de técnicas de aumentos brusco de pressão (explosão), ou por métodos de aquecimento elevado, os quais utilizam as propriedades termoplásticas dos materiais lignocelulósicos (150 a 180°C, amolecendo a lignina). A partir desse ponto, os métodos de fabricação podem ser classificados como processo úmido, semi-úmido e seco, fazendo referência à quantidade de água utilizada no processo de formação da manta inicial, ou colchão de fibras. Essa etapa, chamada também de entrelaçamento, difere no processo de fabricação de painéis isolantes para a de produção de chapas duras. A seguir, são detalhados os processos para os produtos de diferentes características (TORQUATO, 2004).

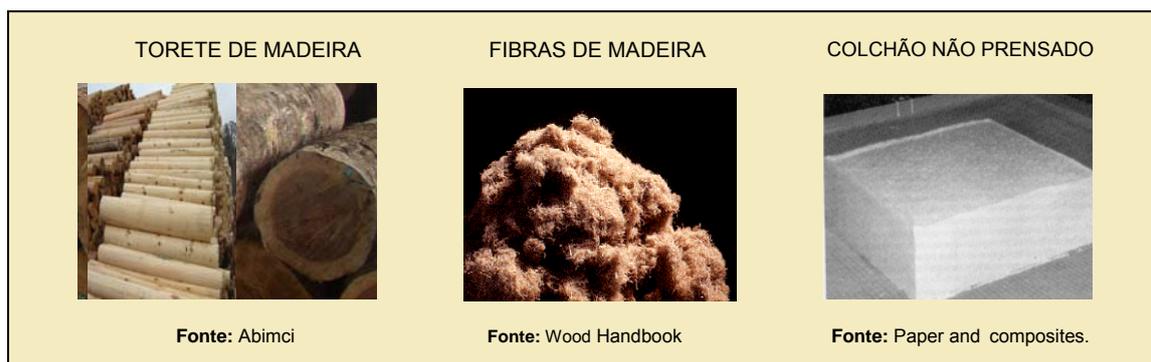


FIGURA 3 - PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE FIBRAS DE MADEIRA  
 FONTE: ABIMCI (2008); FOREST PRODUCTS LABORATORY - WOOD HANDBOOK (1999); CHOW et al (1997)

Enfim, são muitas as variáveis envolvidas na produção de painéis de fibras de madeira, essas variáveis definem o produto final e estão presentes até mesmo na escolha da matéria-prima para se obter um produto adequado para sua aplicação. Dessa forma a escolha da espécie deve ser analisada em função de coloração, tamanho de fibras e densidade.

Em seguida, o processo de produção deve ser direcionado de acordo com o tipo básico de painel que será manufaturado. A principal diferença na produção de painéis de fibras esta no ponto em que os métodos de fabricação podem ser classificados em função da quantidade de água utilizada no processo e na técnica de formação da manta inicial, ou colchão de fibras. As fases do processo seco que mais o caracteriza são a de aplicação de aditivos e a fase de aplicação de resina, o que não acontece no processo úmido, pois neste processo a ligação entre as fibras se faz especialmente pela ação de ligações primárias derivadas do interempastamento das fibras e de suas propriedades adesivas inerentes.

Outra grande diferença está na utilização da prensa para painéis de fibra dura, fase que não se aplica a painéis isolantes. Esse fator de prensagem é fundamental para a classificação dos painéis.

### 2.1.6 Painéis de fibras de média densidade (Medium Density Fiberboard – MDF)

Segundo Maloney (1996), em meados dos anos 60 ocorreu um novo desenvolvimento na indústria de painéis. Esse avanço foi chamado de Painel de Média Densidade (Medium Density Fiberboard - MDF). Este painel, em particular, é normalmente mais grosso do que o tradicional *hardboards* (*chapa dura*) e é mais um refinamento no desenvolvimento do "processo seco" de painéis produzidos essencialmente com fibras.

Um painel de formação seca, produto fabricado a partir de fibras lignocelulósicas combinadas com uma resina sintética ou outro aglutinante adequado. Os painéis são compactados para uma densidade de 31 a 50 lb / ft<sup>3</sup> <sup>(1)</sup>, em prensa quente por um processo em que substancialmente, a ligação entre as fibras é formada pelo adesivo adicionado. Outros materiais podem ser adicionados durante a fabricação para melhorar certas propriedades (MALONEY, 1996).

Iwakiri (2005) define como painéis de fibras de média densificação, os painéis produzidos a partir de fibras de madeira encoladas normalmente com resina uréia – formaldeído e consolidados através de prensagem a quente.

O MDF tem um aspecto compacto que lhe aproxima da madeira maciça. Isto ocorre devido ao tamanho de seus componentes, as fibras, componentes básicos da madeira, do tamanho de um cabelo humano, todas similares, bem como a sua alta densidade sob alta pressão (GAY, P. *et al.*, 2001).

Já Juvenal e Mattos, citados na REVISTA DA MADEIRA (2003) descrevem o painel MDF como um tipo de painel de madeira reconstituída que possui consistência e algumas características mecânicas que o aproximam da madeira maciça e difere do painel de madeira aglomerada basicamente por apresentar parâmetros superiores, boa estabilidade dimensional e excelente capacidade de usinagem.

<sup>(1)</sup> Densidade 1 lb/ ft<sup>3</sup> = 16,0185 kg/m<sup>3</sup>, ou seja, a densidade do MDF está na faixa de, aproximadamente, 500 a 800 kg/m<sup>3</sup> (<http://www.bay-corporation.com/Conversion.html>)

A ABIPA define o painel MDF de uma forma objetiva, afirmando que se trata de um painel de média densidade produzido a partir das fibras da madeira aglutinadas com resina sintética através da aplicação de alta temperatura e pressão.

A Norma ABNT NBR 15316-1:2006 define o Painel de Média Densidade como “Chapa de fibras de madeira com umidade menor que 20% na linha de formação e densidade  $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ . Essa chapa é produzida basicamente sob ação de calor e pressão com a adição de adesivo sintético”. Para fins mercadológicos, pode ser classificada em:

- a) HDF: chapa com densidade  $\geq 800 \text{ kg/m}^3$ ;
- b) Standard: chapa com densidade  $> 650 \text{ kg/m}^3$  e  $< 800 \text{ kg/m}^3$ ; <sup>(2)</sup>
- c) Light: chapa com densidade  $\leq 650 \text{ kg/m}^3$ ;
- d) Ultra light: chapa com densidade  $\leq 550 \text{ kg/m}^3$

Essa norma é utilizada pelos fabricantes Brasileiros de Painel MDF e é baseada nas Normas Européias.

Além da variação da densidade como já apresentado anteriormente segundo Maloney (1993), de 500 a 800  $\text{Kg/m}^3$ , e que Iwakiri (2005) confirma essa faixa, com uma pequena diferença, que é a margem superior de 850  $\text{Kg/m}^3$ , também pode variar a espessura do painel MDF, numa faixa de 3 a 60 mm.

### 2.1.7 Características e aplicações dos painéis MDF

O MDF é um painel cuja característica principal é sua grande estabilidade dimensional e excepcional capacidade de usinagem, tanto nas bordas, quanto nas faces. Com densidade adequada e perfeita homogeneidade proporcionada pelas fibras, o painel de MDF pode ser facilmente pintado e revestido, torneado, entalhado e perfurado.

---

<sup>(2)</sup> Painel utilizado no desenvolvimento prático desse estudo.

Além disso, por não possuir nós, veios e imperfeições típicas de uma madeira natural, o painel tem a vantagem de poder ser usinado de diferentes formas (ABIPA, 2008).

Ainda segundo a ABIPA (2008) existem três opções de acabamento: In Natura, Pintado e Revestido com Laminado Baixa Pressão (BP) ou *Finish Foil* (FF).

- *In Natura* (sem revestimento): As chapas não recebem nenhum acabamento, são processadas pelo próprio usuário e podem ser revestidas com lâminas de madeira natural, com laminado plástico, PVC, entre outros. Outra forma de acabamento é a pintura ou impressão direta.
- Revestimento com laminado de Baixa Pressão (BP): Por meio de temperatura e pressão, uma lâmina celulósica impregnada com resina melamínica, é fundida ao MDF, resultando em um painel pronto para uso. Podem ser apresentadas com cores sólidas, amadeiradas ou fantasia.
- Revestimento em *Finish Foil* (FF): Uma folha de papel especial impregnada com resina melamínica é fundida por meio de pressão e alta temperatura ao MDF, resultando em um painel pronto para uso.

Pelas suas características, o MDF é amplamente utilizado na indústria moveleira em frontais de portas, frentes de gaveta e outras peças mais elaboradas, com usinagens em bordas ou faces, como tampos de mesa, *raks* e estantes. Na construção civil é utilizada como pisos, rodapés, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, peças torneadas como balaústres de escadas, pés de mesas e também em embalagens. Amplamente utilizado na indústria moveleira e construção civil, o MDF pode ser facilmente pintado e revestido, torneado, entalhado e perfurado (ABIPA, 2008).

Algumas características favoráveis dos painéis MDF são a homogeneidade, capacidade de receber acabamentos como tintas e vernizes, trabalhabilidade e resistência ao arrancamento (ELEOTÉRIO, 2000)

Essas características e aplicações apresentadas pela ABIPA (2008) são também apresentadas pela *EUROPEAN PANEL FEDERATION* – EPF (2008). Que afirma que ao contrário da maioria dos outros materiais de madeira com base em

lâminas, a distribuição uniforme e homogênea das fibras em toda a espessura de MDF permite operações de usinagem detalhadas nas faces e arestas ou a exposição de vazios no centro dos painéis.

O MDF tipo *Standard*, ou padrão, é usado com sucesso para a fabricação de mesas, portas e frentes de gavetas com arestas moldadas ou superfícies perfiladas. As superfícies lisas e estáveis de MDF proporcionam um excelente substrato para a pintura, para a aplicação de papéis decorativos ou lâminas de madeira. A estabilidade inerente, a boa usinagem e a alta resistência do MDF criam oportunidades para que ele possa ser usado como uma alternativa à madeira maciça para várias aplicações como armários e molduras.

Embora originalmente desenvolvidos para utilização em mobiliário, o MDF padrão também está sendo usado, cada vez mais, em interiores de lojas, em vitrines, como paredes, molduras arquitetônicas e muitas outras aplicações onde a sua boa usinagem e suas características de acabamento são usadas como vantagem.

Os painéis MDF podem ser disponibilizados para usos em situações mais exigentes, como em aplicações em que o material deve ser resistente a umidade, resistente ao fogo e de alta densidade. Geralmente essa situação ocorre quando o painel MDF é utilizado em ambientes externos.

A resistência a umidade é exigida em acabamentos de banheiros, portas, janelas e outros aplicativos em interior de construções onde a resistência às condições de umidade ou intermitente a molhar são requisitos importantes.

Características retardantes de fogo são cada vez mais necessárias em partes para mobiliário, portas e paredes em edifícios públicos e de outras áreas que devem obedecer às regulamentações relacionadas a proteção contra incêndios.

Os painéis de alta densidade, são considerados melhores para a usinagem e mais adequados para definir as suas características de acabamento. Favorece a utilização dos painéis para a fabricação de componentes especializados, de

cozinhas de alta qualidade e portas de quartos com perfis complicados, e também para algumas aplicações estruturais substituindo a madeira maciça.

Painéis com características externas com superfície de alta durabilidade adequada a revestimentos podem ser usados para suportes de pouca carga, como componentes aplicados em portas, sinalização rodoviária e fachadas de lojas e também para móveis de jardim (EPF, 2008).

#### 2.1.8 Requisitos normativos de propriedades físico – mecânicas para os painéis MDF

As normas ABNT, NBR 15316:2006, partes 1, 2 e 3, aplicadas aos painéis de fibras correspondem, em conteúdo e requisitos, as Normas Européias, em função da organização, da estrutura e do atendimento normativo aos países que exigem essa padronização para o produto MDF.

As indústrias brasileiras fabricantes de MDF utilizam as principais normas nacionais para a realização da caracterização dos produtos em laboratórios internos. No entanto os principais requisitos, relacionados ao produto, que devem ser atendidos, são equivalentes para aos apresentados nas Normas Européias – EN.<sup>(3)</sup>

A norma brasileira de MDF, ABNT NBR 15316-1, apresenta as seguintes definições para os ensaios mencionados abaixo:

- **Absorção de água:** Aumento da massa (em água) que um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF) apresenta, após serem imersos em água a  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$  pelo tempo de  $24 \text{ h} \pm 36 \text{ min}$ .

<sup>(3)</sup> Esse fato é importante uma vez que os ensaios de caracterização deste trabalho foram executados seguindo as normas Européias, que são as normas mais exigentes para este produto e também por serem as mais praticadas pelo laboratório onde foram realizados.

- **Inchamento:** Variação percentual de aumento em espessura que um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF) apresenta, após ficar imerso pelo tempo de  $24 \text{ h} \pm 36 \text{ min.}$  em água à temperatura de  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ .
- **Densidade:** Característica representada pelo quociente da relação entre a massa e o volume de um corpo, a determinado teor de umidade.
- **Teor de umidade:** Porcentagem de água desprendida do corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF), quando este é submetido a uma temperatura de  $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$ , até a massa tornar-se constante. A porcentagem é tomada em relação à base seca.
- **Perfil de densidade:** Gradiente que determina o perfil de densidade de um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF), através da determinação parcial de densidade de suas camadas, classificando a chapa de fibras de média densidade (MDF) quanto ao seu grau de densidade final.
- **Resistência à flexão estática:** Resistência que um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF), apoiado em seus extremos, oferece quando sujeito a uma força aplicada em seu centro até a sua ruptura.
- **Resistência à tração perpendicular (ligação Interna):** Resistência que um corpo-de-prova de uma chapa de fibras de média densidade (MDF) oferece, quando este é submetido a uma força de tração aplicada perpendicularmente à sua superfície até a ruptura.

Os requisitos avaliados neste estudo são referentes aos painéis MDF utilizados em ambiente seco, ou em condições secas, que segundo a EN 622-5:2006 é um ambiente caracterizado por um teor de umidade no material correspondente a uma temperatura de  $20^\circ \text{C}$  e uma umidade relativa do ar que somente sobre passa os 65% durante algumas semanas ao ano. Geralmente nesses ambientes são feitas as aplicações de interior, incluindo mobiliário.

Requisitos mínimos de propriedades de acordo com os valores propostos na Norma Européia para painéis MDF estão descritos na Tabela 3 e estes os valores propostos pela norma Brasileira estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 3 – PRINCIPAIS REQUISITOS DA NORMA EN 622-5:2006

Propriedade	Método de ensaio	Unidades	Espessuras nominais (mm)
			> 12 a 19
Inchamento em Espessura 24 h	EN 317	%	12
Ligação Interna	EN 319	N/mm <sup>2</sup>	0,55
Resistência a Flexão (MOR)	EN 310	N/mm <sup>2</sup>	20
Módulo de Elasticidade (MOE)	EN 310	N/mm <sup>2</sup>	2200

FONTE: Adaptado da Tabela 3 da EN 622 – 5 (2006).

Em relação aos resultados de Flexão Estática, é importante ressaltar que a Norma 622 -5 de MDF não estabelece requisitos para os sentidos perpendicular e paralelo, mas determina que os valores da Tabela 3, assim como de outras tabelas nela citadas, para a resistência à flexão e de módulo de elasticidade devem ser aplicados aos resultados de ensaios obtidos na direção mais fraca do painel. Assim os menores valores de MOE e MOR encontrados entre os sentidos perpendicular e paralelo que serão válidos para a avaliação dos painéis.

TABELA 4 – PRINCIPAIS REQUISITOS DE ACORDO COM A ABNT NBR 15316-2

Propriedades	Unidade	Espessuras (mm)
		>12,0 a 19,0
Inchamento 24 h (máximo)	%	12
Resistência à Tração Perpendicular (mínimo)	N/mm <sup>2</sup>	0,55
Resistência à Flexão Estática (mínimo)		20
Módulo de Elasticidade (mínimo)		2 200

FONTE: Adaptado da Tabela 2 da ABNT NBR 15316-2 (2006).

NOTA:  $1\text{MPa} = \frac{1\text{N}}{\text{m}^2} \times 1\,000\,000 = \frac{1\text{kgf}}{\text{cm}^2} \times 10,197\,2.$

A Tabela 5 apresenta os valores de referência para as propriedades umidade e densidade segundo a Norma Brasileira, no entanto as Normas EN estabelecem os mesmos requisitos para essas propriedades.

TABELA 5 – REQUISITOS GERAIS – PROPRIEDADES BÁSICAS

Propriedades	Requisitos Gerais
Umidade	4% a 11%
Densidade Média	± 7%

FONTE: Adaptado da Tabela 1 da ABNT NBR 15316-2 (2006).

### 2.1.9 Pesquisas relevantes sobre painéis MDF

Belini *et al.* (2008) testaram painéis MDF de *Eucalyptus grandis* em Laboratório na espessura de 18,9 mm com objetivo de determinar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Entre os resultados encontrados, estão o MOR de 36,1 N/mm<sup>2</sup> e o MOE de 3776 N/mm<sup>2</sup>. Para a Resistência à tração perpendicular (LI) obtiveram 1,01 N/mm<sup>2</sup>. Já o Inchamento em espessura foi de 9,5 % e a Absorção de Água foi de 56,1 %. Ainda de acordo com Belini (2008) os resultados obtidos atenderam a Norma Brasileira ABNT NBR 15316-2.

Silva (2003) caracterizou por método destrutivo e por ultra-som painéis MDF fabricado com poliuretano mono-componente derivada de óleo de mamona para painéis MDF de *Pinus caribea* e *Eucalyptus grandis* em 3 fases. Os resultados da 1ª fase em que analisou somente o MDF de *pinus* com 5 e 10% de poliuretano (PU3070), mostraram que os painéis apresentaram resistências compatíveis com as exigências da Norma Européia, como por exemplo a Tração Perpendicular média de 0,93 MPa, MOR de 43,1 MPa e MOE de 3695 para formulação de PU3070 a 5%. Na fase 2 Silva (2003) utilizou painéis de *pinus* e *eucaliptos* e a caracterização física e mecânica também correspondeu positivamente a exigências da Norma.

Krzysik *et al.*, (2001) realizou ensaios com MDF de *Eucalyptus saligna* de espessuras variável (6, 13 e 19 mm) a 10% de resina uréia e 1,5 % de parafina. Os

resultados mostraram que praticamente todas as propriedades mecânicas dos painéis para todos os níveis de espessura foram acima dos requisitos mínimos especificados pelas EN para painéis MDF. Ainda segundo o autor, os resultados de inchamento em espessura e os valores de absorção de água de todos os painéis de MDF ensaiados foram bem inferiores aos níveis máximos especificados.

Campos e Lahr (2004) trabalharam com o MDF produzido a partir de fibras de *eucalipto* em diferentes porcentagens de adesivo poliuretano natural, com objetivo de caracterização dos painéis. Os ensaios de densidade e de determinação de umidade, dentro das especificações da Norma Européia, apresentaram-se conformes para as três condições de uso (seco, em contato com água e uso externo). Os autores afirmaram que os resultados obtidos com painéis feitos com adesivos no teor de 10 e 12% de poliuretano apresentaram valores sempre maiores do que o mínimo proposto na EN para MDF para uso em condições com e sem contato com água. Já os painéis com adesivos no teor de 12 %, podem ser utilizados em condições de uso externo, uma vez que os valores médios estavam dentro das especificações mínimas das Normas em todos os ensaios realizados.

Também Campos e Lahr (2004), apresentaram um estudo comparativo entre painéis MDF a partir de fibras de *pinus* e *eucalipto*, com três diferentes teores de resina uréia-formaldeído através da realização de ensaios mecânicos para determinar a Adesão Interna (AI) . Os resultados foram comparados com as Normas EN e concluíram que os painéis de fibras de *pinus* e os painéis com fibras de *eucalipto* com 8% de adesivo podem ser empregados em situações em que o MDF não terá contato com água, por exemplo, camas, armários, guarda-roupas. Concluíram também que os painéis com fibras de *pinus* e fibras de *eucalipto* com 10% e 12% de adesivo podem ser empregados em ambientes úmidos e até em contato direto com a água.

Groom et al (1997) concluíram que as propriedades de rigidez e resistência dos painéis MDF se comportam de forma inversa à resistência das fibras. Nelson (1973) observou que a estabilidade linear está relacionada com o comprimento das fibras da madeira, mas que não influencia a resistência mecânica dos painéis.

Singh & McDonald (1998) afirmaram que o inchamento dos painéis fabricados com fibras de *Hevea brasiliensis* é 40% menor que o inchamento dos painéis fabricados com fibras de *Pinus radiata*, demonstrando a influência da espécie na propriedade.

## 2.2 MERCADO

O estudo da ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO - FAO (2006), denominado “*Tendencias y perspectivas del sector forestal em América latina y el Caribe*” analisou o setor dessas regiões geográficas, considerando o contexto atual e projetando o setor até 2020. Este estudo mostra que a alta competitividade da indústria de MDF, OSB e painéis de partículas, principalmente no Brasil e no Chile, devido ao baixo custo de produção e de matéria prima de florestas plantadas, devem influenciar no incremento da produção regional destes produtos a médio e longo prazo. Prevê-se que os principais produtos responsáveis pela alta taxa de crescimento do consumo de painéis continuem sendo o MDF e o painel de partículas, muito utilizados na fabricação de móveis. O crescimento da indústria de móveis para atender o mercado interno como o internacional será determinante para o crescimento da demanda de painéis de madeira na América Latina e no Caribe (FAO, 2006).

Segundo o BNDES (2008) o comércio mundial de MDF movimentava cerca de US\$ 4 bilhões, um volume de 14 milhões de m<sup>3</sup>, que corresponde a 34% do consumo mundial. Europa e América Latina são regiões exportadoras, enquanto Ásia e Estados Unidos, juntamente com o Canadá, caracterizam-se como importadoras. A China, que se destaca como o maior país importador, adquiriu 1,6 milhões de m<sup>3</sup> de MDF em 2005. A Ásia é responsável por 56% do consumo mundial desse painel, seguida pela Europa (22%), pelos Estados Unidos juntamente com o Canadá (15%) e a América Latina (7%). No período 1995–2005, o consumo mundial de MDF cresceu a uma taxa média anual de 18,5%. Com 61% da demanda, China (40%), Estados Unidos (12%), Coreia do Sul (5%) e Brasil (4%) são os grandes centros de consumo mundial.

Em relação à indústria norte-americana, que é um mercado de destaque, a capacidade do crescimento na produção de MDF foi apenas um pouco superior em 2007, mas com tendência a acelerar em 2008. Em 2007, novas instalações adicionaram cerca de 8,2% da capacidade produtiva em relação aos 5,7 milhões de m<sup>3</sup> no ano anterior e atingiu cerca de 6,2 milhões de m<sup>3</sup>. A previsão para 2008 é de que capacidade aumente cerca de 9,3% (ITTO, 2007).

Quanto à indústria brasileira a maior transformação que deverá ocorrer é a utilização crescente do *eucalipto* em segmentos como madeira serrada e painéis de fibra, como MDF. O consumo projetado de madeira industrial, para 2020, será superior a 280 milhões de m<sup>3</sup>. Desse total, a maior parte (49%) será representada pela madeira de eucalipto. A madeira de pinus representará aproximadamente 31% do consumo total e a tropical, os 21% restantes. O consumo se concentrará nas Regiões Sul e Sudeste do País e no que concerne às madeiras de espécies plantadas (*pinus* e *eucalipto*), o setor de celulose e papel continuará a ser o principal demandante (MAPA, 2007).

A produção de MDF crescerá a taxa de 5% a.a. até 2010. Até 2020 a taxa será um pouco menor: 4% a.a. A utilização de madeira de eucalipto e de resíduos de madeira nos processos de produção aumentará sua participação, principalmente nos painéis de menor espessura (MAPA, 2007).

### 2.2.1 Mercado nacional de MDF

De acordo com o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA (2007), a indústria brasileira de painéis de madeira, modernizou-se rapidamente para garantir competitividade. Nos últimos cinco anos, foram investidos quase US\$ 1 bilhão. O setor passou por intensa transformação em sua estrutura produtiva para seguir a tendência predominante de redução progressiva da fabricação de chapas duras, em virtude das pressões ambientais, e ampliar a produção de MDF. Nesse contexto, o Brasil transformou-se em um centro de produção mundial nesse setor de painéis de madeira. Adicionalmente, no esteio

dessas mudanças, intensificou-se a verticalização das empresas em atividades florestais, bem como os investimentos na melhoria da produtividade e na qualidade de suas florestas.

Nos últimos anos, foram investidos quase US\$ 1 bilhão em modernização, ampliação e implantação de unidades industriais. No período 2006-2010, estão previstos investimentos superiores a US\$ 1,1 bilhão. Como reflexo dessa entrada de capital, a produção nacional de painéis de madeira cresceu rapidamente (MAPA, 2007).

O segmento de MDF foi o que mais cresceu na indústria de painéis e sua produção praticamente já superou a quantidade fabricada de aglomerados. Sendo que a capacidade de produção da indústria brasileira, segundo a ABIPA, passou de 250 mil para 1,76 milhões de m<sup>3</sup>. Sua forte aceitação pelo setor moveleiro no mercado doméstico faz com que as perspectivas de crescimento sejam muito alentadoras. As exportações também cresceram rapidamente a partir de 2002, atingindo um patamar de 20% da produção nacional. Nos próximos anos, deve haver uma ampliação das vendas externas, na medida em que a capacidade produtiva cresça acima do consumo interno (MAPA, 2007).

O MDF cresce em utilização e vem ocupando mercado de madeira maciça e de outros painéis reconstituídos, sendo cada vez mais empregado na indústria moveleira e na construção civil. Até 1996 o Brasil importava todo o MDF de que necessitava. A produção em 2005 foi cerca de 1,66 milhões m<sup>3</sup>, com um consumo interno de 1,7 milhões de m<sup>3</sup> e a exportação de 103 mil m<sup>3</sup> (SBS, 2006).

Já em 2007, a produção foi de aproximadamente 1,88 milhões m<sup>3</sup> e o consumo interno ultrapassou os 2 milhões de m<sup>3</sup>, apesar das exportações terem reduzido. Esses dados são fornecidos pela ABIPA (2008), conforme Tabela 6 abaixo que mostra o balanço de oferta e demanda deste produto nos últimos anos.

TABELA 6 - BRASIL: MDF – BALANÇO DE OFERTA E DEMANDA (1.000 m<sup>3</sup>)

MDF (m <sup>3</sup> )					
Ano	Produção	Importação	TOTAL	Exportação	Consumo Interno
2000	381.356	10.559	<b>391.915</b>	3.037	<b>388.878</b>
2001	609.072	23.865	<b>632.937</b>	3.878	<b>629.059</b>
2002	835.081	25.570	<b>860.651</b>	155.039	<b>705.612</b>
2003	1.095.533	140.748	<b>1.236.281</b>	217.696	<b>1.018.585</b>
2004	1.405.996	170.986	<b>1.576.982</b>	204.518	<b>1.372.464</b>
2005	1.407.730	146.435	<b>1.554.165</b>	159.809	<b>1.394.356</b>
2006	1.695.359	204.595	<b>1.899.954</b>	73.301	<b>1.826.653</b>
2007	1.879.072	195.654	<b>2.074.726</b>	42.185	<b>2.032.541</b>

FONTE: ABIPA (2008).

### 2.2.2 Fabricantes de MDF no Brasil

No Brasil é um produto recente, pois se tornou disponível no mercado a partir do final dos anos 80. Inicialmente era importado da Argentina e do Chile e a partir de setembro de 1997 passou a ser fabricado no país (ELEOTÉRIO, 2000).

Atualmente existem 5 grandes produtores e três novas empresas se preparam para entrar no mercado de MDF entre 2008 a 2010. As principais indústrias produtoras de MDF e as futuras instalações podem ser visualizadas na Figura 4.

Entre eles estão os atuais produtores (Duratex, Tafisa, Masisa e Placas do Paraná) que deverão ampliar sua capacidade instalada nos próximos anos (MAPA, 2007).



FIGURA 4 - PRINCIPAIS PRODUTORES DE MDF E FUTURAS INSTALAÇÕES.  
 FONTE: Adaptado de IBGE (2008), ABIPA (2008).

Outro fator a destacar é que esse segmento é muito mais internacionalizado que os demais, estando presentes no País diferentes grupos internacionais de origem chilena e portuguesa, com implicações importantes para a dinâmica do investimento e das exportações (MAPA, 2007).

Ainda segundo o MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA (2007) as principais características do setor no Brasil são:

- A estrutura produtiva é muito concentrada, composta por poucas empresas: Berneck, Duratex, Eucatex, Masisa do Brasil, Placas do Paraná, Satipel Industrial e Tafisa do Brasil.

- O crescimento do mercado doméstico, nos últimos anos, estimulou as empresas a realizarem investimentos significativos. Foram realizados vários projetos de ampliação da capacidade instalada e de construção de novas fábricas de MDF.

Os investimentos dessas empresas estão em destaque no setor e na mídia devido a dimensão da expansão de mercado e do impacto que representará para o setor da Indústria de madeira e para o país. Dessa forma é importante relatar as notícias e os principais investimentos no mercado de MDF no Brasil:

A Duratex completou a entrada em plena operação das ampliações e as atualizações tecnológicas realizadas nos últimos anos. A empresa ampliou a produção de chapas MDF, HDF e SDF na unidade de Botucatu e conta com uma capacidade disponível, nessa nova linha de produção, de 400 mil m<sup>3</sup> anuais (MAPA, 2007).

A Divisão Madeira aumentou em 11,7% suas exportações em 2005, chegando a US\$ 56,2 milhões. O destaque foi o incremento no volume de MDF exportado, no entanto, o principal produto exportado continua sendo a chapa de fibra, com participação de 71% do total das vendas externas. Os principais destinos desses painéis são os Estados Unidos (52%) e a Europa (20%), (MAPA, 2007). Ainda a notícia veiculada pelo JORNAL BOM DIA (2008), jornal local de Bauru no estado de São Paulo, afirma que a unidade de Agudos é a maior produtora nacional de MDF, e segundo as declarações do Diretor Comercial da Divisão Madeira da Duratex, o principal projeto da empresa é a instalação de uma nova linha de MDF em Agudos, que entrará em operação em 2009 com capacidade inicial de produção de 500 mil metros cúbicos/ano. De acordo com o Diretor, Alexandre Coelho, a Duratex espera mais do que dobrar sua produção no futuro, e com o início das atividades da linha de Agudos, a empresa terá condições de produzir mais do que 1 milhão de m<sup>3</sup> de painéis MDF, o que representará 78% de aumento (JORNAL BOM DIA, 2008).

Outro projeto implantado foi a fábrica de aglomerados e MDF da Tafisa, com capacidade inicial instalada de 145 mil m<sup>3</sup>/ano (MAPA, 2007). A Tafisa Brasil fábrica

de painéis de madeira, possui uma unidade no Paraná com capacidade para produzir 380 mil m<sup>3</sup>/ano de painéis MDF, 260 mil m<sup>3</sup>/ano de painéis MDP e 300 mil m<sup>3</sup>/ano de painéis de Melamina (BP), (GAZETA MERCANTIL, 2008).

Ao longo de 2007, a Satipel investiu R\$ 171,2 milhões no aumento de sua capacidade produtiva, ante os R\$ 40,5 milhões feitos no ano anterior. Deste total, 44,2% foram aplicados na construção da fábrica de MDF (*Medium Density Fiberboard*), em Uberaba (MG), que segue rigorosamente o cronograma físico e financeiro proposto. A manutenção das florestas e fábricas respondeu por R\$ 38,2 milhões do total de investimentos feitos pela companhia em 2007. A Satipel possui 78 mil hectares de florestas com *pinus* ou *eucaliptos* integrados aos seus complexos industriais, entre áreas próprias e arrendadas de terceiros, dos quais 85% estão em Minas Gerais, onde a Companhia é auto-suficiente em madeira, mesmo com a ampliação da capacidade prevista para 2008. No Sul, onde há ampla oferta de madeira, a Companhia compra de produtores locais para complementar a produção de suas florestas próprias, cuja área deve aumentar a partir de 2008 (REVISTA FATOR, 2007). Ainda, segundo a Revista, a Secretaria de Desenvolvimento Econômico - SDE de MG afirma que a primeira fábrica de painéis de MDF de Minas Gerais, será construída pela Satipel Industrial S.A. em Uberaba, no Triângulo Mineiro, e vai destinar cerca de 30% da sua produção ao mercado externo. A nova unidade da empresa tem capacidade de produzir o equivalente a 350 mil m<sup>3</sup> de MDF por ano, gerando cerca de 1.200 empregos diretos, indiretos e relacionados à colheita e ao transporte de madeira.

Entre 1999 e 2002, a Placas do Paraná S.A. investiu aproximadamente 170 milhões de dólares em reflorestamentos e na nova fábrica de MDF que entrou em operação em 2001. Em março de 2005, a Celulosa Arauco e Constitución S.A. – um dos maiores grupos florestais do Chile – adquiriu, do Grupo Louis Dreyfus, a totalidade das operações florestais e industriais da Placas do Paraná S.A. Segundo a empresa, a produção anual de MDF é de 260 mil de m<sup>3</sup> e 330 mil de m<sup>3</sup> de aglomerado (MAPA, 2007). A GAZETA DO POVO (2007), jornal de Curitiba, no Paraná, publicou uma matéria no final de 2007 que descrevia o perfil da Arauco no Brasil como uma empresa que possui 63 mil hectares plantados de *pinus* e *eucalipto*, e a sua capacidade instalada para produção de painéis é de 600 mil m<sup>3</sup>. E

que em 2006 o faturamento da Arauco no Brasil foi de R\$ 622 milhões. De acordo com a reportagem, a Arauco está reforçando seus investimentos na área de painéis de madeira, setor que marcou sua entrada no mercado nacional. São investimentos de US\$ 7 milhões, e a empresa colocou em funcionamento uma linha de melamina, usada para revestir painéis de madeira de MDF (*Medium Density Fiberboard*), com capacidade para 200 mil metros cúbicos por ano na fábrica de Jaguariaíva, no Paraná (PORTAL RPC – GAZETA DO POVO, 2007).

Os investimentos da Eucatex, na década de 1990, concentraram-se no interior de São Paulo, na cidade de Botucatu, onde foi instalada uma unidade de produção de aglomerados em 1996. A empresa já havia realizado investimentos entre o fim dos anos 1960 até o início da década de 1980, na construção de uma nova linha de produção de chapas duras em Salto (SP) e da Unidade Metálica, em Barueri (SP). Foi também nesse período que a companhia começou a investir em terras e reflorestamento para garantir a auto-suficiência do abastecimento de matéria-prima (MAPA, 2007). O PORTAL EXAME (2008), publicou no início do ano de 2008 que a Eucatex estava investindo R\$ 130 milhões para construir uma nova fábrica. De acordo com a reportagem, a Eucatex vai construir uma fábrica na cidade paulista de Salto, onde já mantém duas linhas de produção de chapas duras de madeira. Unidade deve entrar em operação até junho de 2009 e terá capacidade para fabricar 110 milhões de metros quadrados por ano de chapas finas. A linha também poderá fabricar chapas do tipo MDF, de média densidade.

Os investimentos da Masisa iniciaram-se no fim dos anos 1990 e a entrada em operação de sua planta de MDF, no complexo industrial de Ponta Grossa (PR) ocorreu em 2000. No ano seguinte, entrou em operação a planta nova de OSB, com capacidade para 350 mil m<sup>3</sup> (MAPA, 2007). A Masisa Brasil tem capacidade de produção de sua fábrica em Ponta Grossa (PR), de 300 mil m<sup>3</sup>/ano de MDF e 250 mil m<sup>3</sup>/ano de Melamina, além da capacidade da fábrica que a empresa já começou a construir em Montenegro (GAZETA MERCANTIL, 2008).

Em julho de 2008, está previsto o lançamento da Linha de MDF da Berneck que será produzido 100% com madeira de Pinus e resina UF (PARANÁ SHOP, 2008). Segundo a GAZETA DO POVO (2008), a fábrica terá o potencial para fazer

340 mil m<sup>3</sup> por ano, e o número de funcionários deve crescer de 1,1 mil para 1,35 mil. O projeto marca a entrada da Berneck no mercado de MDF, disputado pelas empresas Tafisa, Masisa, Duratex e Arauco.

Ainda conforme informações da GAZETA DO POVO (2007), e também do PORTAL MOVELEIRO (2007), outras empresas vão investir na produção de MDF. A empresa Compensados Rossoni, vai construir uma fábrica de painéis de madeira em Santa Catarina. A nova unidade industrial, que deve entrar em operação dentro de um ano, vai produzir MDF. A previsão é produzir 6 mil m<sup>3</sup> por mês. O projeto, segundo informações do mercado, está orçado em R\$ 25 milhões. Atraída pelos incentivos fiscais e pela oferta de base florestal, a Rossoni é a quarta empresa do setor da madeira do Paraná a anunciar investimentos em Santa Catarina em 2007. A Sudati e a Guararapes, ambas com sede em Palmas, no sul do estado, vão investir em duas unidades industriais de MDF em Santa Catarina. Cada uma terá capacidade de 180 mil metros cúbicos por ano, e deve custar entre R\$ 60 milhões e R\$ 70 milhões (GAZETA DO POVO E PORTAL MOVELEIRO, 2007).

Esses investimentos alteraram significativamente o quadro do setor no Brasil. Os painéis de MDF substituíram rapidamente as chapas de fibra, aglomerados e compensados na indústria moveleira nacional, estimulando também as exportações brasileiras de móveis (MAPA, 2007).

Outra característica importante é a verticalização dessas empresas em atividades florestais. Como no Brasil, a madeira provém, em sua totalidade, de florestas plantadas, as empresas investiram na melhoria da produtividade e na qualidade de suas florestas, garantindo suprimento para suas fábricas (MAPA, 2007).

Os principais demandantes desse painel no Brasil são a indústria moveleira, que é atendida diretamente (54%) ou através de revendedores (31%), e a indústria da construção civil (8%), (BNDES, 2008). De acordo com o cenário de Construção Civil, a expansão do setor e o aumento da oferta de crédito e da renda estão se refletindo na demanda de painéis de madeira para a produção de móveis e para acabamentos - rodapés, batentes, portas e pisos. A previsão é de que o consumo

interno de Painéis de Fibra de Média Densidade (MDF), utilizados em móveis e na construção civil, cresça 15% ao ano de 2007 a 2011 (PORTAL EXAME, 2007).

### 2.2.3 O mercado nacional de MDF em relação ao cenário internacional

No segmento de painéis de madeira, como anteriormente mencionado, o Brasil é um tradicional exportador de chapas de fibra e, recentemente, passou a exportar MDF. O mercado nacional tem, no entanto, absorvido grandes quantidades desse produto e os excedentes exportáveis não são muito significativos. O fato de que entre os produtores de MDF haja empresas multinacionais pode também ser um limitante para as perspectivas de exportação no futuro (MAPA, 2007).

A indústria de móveis, contudo, beneficiou-se deste aumento da disponibilidade de matérias primas. A competitividade do setor cresceu significativamente nos últimos anos (MAPA, 2007).

Caso se concretizarem tais perspectivas, em 2020, o Brasil deverá produzir um total de 12 milhões de m<sup>3</sup> de painéis de madeira. Segundo o MAPA (2007), entre os principais tipos de painéis de madeira produzidos em 2020, o painel MDF representará 21% do total.

A produção de painéis de madeira deverá concentrar-se nas Regiões Sul e Sudeste. As indústrias devem aumentar sua capacidade de produção e o tamanho das unidades poderá chegar ao dobro da capacidade atual. Tal aspecto deve representar aumento de importância no comércio internacional de alguns desses produtos, como ocorreu com a madeira aglomerada de *pinus*. A madeira aglomerada de eucalipto deverá estar mais presente na produção nacional, particularmente nos produtos com maior valor agregado (MAPA, 2007).

### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA A COLETA DE MATERIAIS

Uma vez decidido que o objetivo do estudo levaria em consideração aspectos comerciais e mercadológicos e que não seriam considerados os parâmetros de produção, determinou-se o número de empresas que teriam seus produtos avaliados. Dos cinco fabricantes de MDF do Brasil, durante o período do desenvolvimento do trabalho, foram escolhidas 4 empresas, representando quase que totalidade de fabricantes, sendo que uma delas passaria por avaliação de produtos similares, mas de duas espécies diferentes, que seriam painéis de pinus e de eucalipto.

As empresas selecionadas foram denominadas por letras (A, B, C e D) e foram mantidas em sigilo, no entanto cada participante que forneceu material obteve o direito de acesso aos seus dados. A idéia era favorecer os fabricantes que participaram com o benefício de obter o perfil do setor para o tipo de painel testado e os resultados completos dos ensaios do produto da sua empresa e em relação às demais.

O segundo procedimento em relação à escolha do material foi determinar a espessura do painel que seria caracterizado. Os critérios iniciais seguidos foram: um painel comum a todas as empresas, uma espessura padrão de painel que estivesse entre os mais comercializados, disponibilizado pelas empresas após uma escolha aleatória das amostras na fábrica, ou adquiridos em revendedores especializados que recebem diretamente do fabricante. A partir dos critérios iniciais definiu-se que seria caracterizado o painel de 15 mm de espessura, tipo *Standard*, *In natura* ou também denominado *cru*, com densidade  $> 650 \text{ kg/m}^3$  e  $< 800 \text{ kg/m}^3$  utilizado em condições secas (ambiente seco). As dimensões de todos os painéis recebidos no laboratório foram de 2,75 m x 1,83 m, conforme Figura 5. A amostragem total ensaiada foi de 15 painéis de MDF de 4 fabricantes diferentes, sendo 3 painéis

produzidos a base de pinus de cada uma dessas empresas, e 3 painéis produzidos à base de eucalipto para uma empresa.

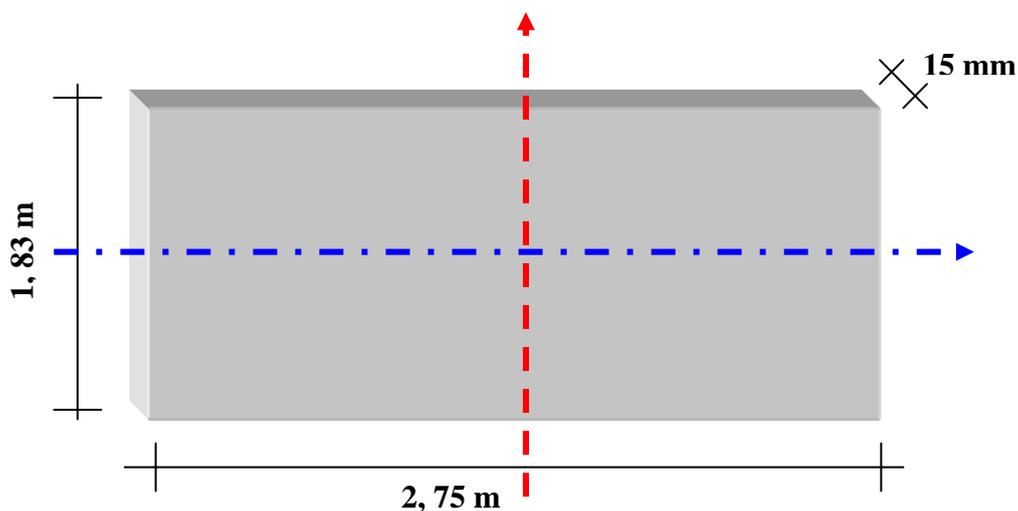


FIGURA 5 - DIMENSÕES DO PAINEL MDF UTILIZADO COMO PADRÃO

### 3.2 PLANO DE TRABALHO

As amostras utilizadas foram adquiridas em revendedores especializados e todos da Cidade de Curitiba, com exceção de uma empresa participante que colaborou doando os 3 painéis necessários. A escolha dos painéis, no caso da empresa, foi realizada de modo aleatório, para garantir as características das amostras iniciais que seriam avaliadas.

Foi elaborado um Plano de trabalho e a estrutura de codificação das empresas e materiais, que tiveram seus nomes mantidos em sigilo por todas as etapas. A codificação utilizada está apresentada na Tabela 7.

Os procedimentos de desenvolvimento do trabalho para a realização dos ensaios físico-mecânicos e de determinação dessas propriedades foram:

- Realização da amostragem de três painéis por empresa;

- Definição dos Ensaios a serem realizados - flexão estática (no sentido paralelo e perpendicular), ligação interna, densidade, perfil de densidade, Umidade, absorção de água e inchamento em espessura 2 – 24 horas;
- Definição do número de corpos de prova por painel para todos os ensaios e a confecção destes;

TABELA 7 - CONTROLE DE EMPRESAS E MATERIAIS

<b>Empresa A</b>	<b>Empresa B</b>	<b>Empresa C</b>	<b>Empresa D</b>	
3 Painéis 2,75 x 1,83 m	3 Painéis 2,75 x 1,83 m	3 Painéis 2,75 x 1,83 m	6 Painéis 2,75 x 1,83 m	
Pinus (P)	Pinus (P)	Pinus (P)	Pinus (P)	Eucalipto (E)
Painel 1 - P	Painel 4 - P	Painel 7 - P	Painel 10 - P	Painel 13 - E
Painel 2 - P	Painel 5 - P	Painel 8 - P	Painel 11 - P	Painel 14 - E
Painel 3 - P	Painel 6 - P	Painel 9 - P	Painel 12 - P	Painel 15 - E

Após coletadas as amostras de uma espessura padrão, comum a todas as participantes, estes painéis foram testados no LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA DA MADEIRA – LTM da Universidade Federal do Paraná, sem custos para a empresa. O LTM/UFPR está em processo final de acreditação pela ISO 17025, via INMETRO para atender os requisitos do GUIA 25 e também é credenciado pela ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI para realização de ensaios em painéis compensado dentro dos requisitos da Normas Européias. A escolha do Laboratório foi essencial para assegurar o desenvolvimento dos ensaios e a credibilidade dos resultados.

O último procedimento foi a análise estatística dos resultados, ANOVA e teste de Tukey, para comparação entre os resultados médios das empresas. A análise estatística foi realizada através do Programa *Statgraphics Plus* e aplicando o método ANOVA e teste de Tukey para comparação entre os resultados médios das empresas. Os resultados também foram comparados aos valores apresentados como requisitos mínimos pela Tabela 3 da Norma EN 622 – 5:2006 para verificar se resultados obtidos eram satisfatórios.

### 3.3 NORMAS UTILIZADAS

As normas são acordos documentados e voluntários que estabelecem importantes critérios para os produtos, serviços e processos. As normas contribuem, portanto, para fazer com que os produtos e os serviços sejam adaptados à seus objetivos, comparáveis e compatíveis aos interesses de produtores e clientes.

As normas Européias estão entre as mais exigentes em relação ao uso de produtos a base de madeira e também são referências para os produtores brasileiros e serão utilizadas para a execução dos ensaios, conforme descrição abaixo:

- Determinação da Densidade (EN 323)
- Determinação do Teor de Umidade (EN 322)
- Determinação do Inchamento em Espessura após imersão em água (EN 317)
- Determinação da Resistência a Tração Perpendicular (EN 319)
- Determinação do Módulo de Elasticidade – MOE em flexão e da resistência à flexão – MOR (EN 310)
- Determinação das dimensões dos corpos-de-prova de ensaio (EN 325) - norma auxiliar.

### 3.4 PLANO EXPERIMENTAL

Para a execução dos ensaios foi elaborado um plano experimental estabelecendo a organização entre ensaios, números de corpos de prova e as dimensões estabelecidas pelas normas conforme apresentado na Tabela 8.

TABELA 8 - CONTROLE DE ENSAIOS – PROPRIEDADES BÁSICAS

Ensaio	Nº de amostras (cp*/ painel)	Dimensões (mm)
Flexão Paralela (longitudinal) =	10	350 x 50
Flexão Perpendicular (transversal) ⊥	10	350 x 50
Ligação Interna (Resistência à Tração Perpendicular)	10	50 x 50
Absorção de Água / Inchamento em Espessura	10	50 x 50
Densidade	10	50 x 50
Teor de Umidade	10	50 x 50
Perfil de Densidade	5 **	50 x 50

NOTA 1: \* cp = corpo de prova

NOTA 2:\*\* A norma requer 10 cp/s, no entanto o número de amostras foi reduzido em função de otimização dos ensaios de perfil que seriam realizados no laboratório de fábrica.

Os corpos-de-prova foram elaborados na Marcenaria do Centro de Ciências Florestais e da Madeira da UFPR e para o acabamento para os corpos-de-prova que seriam utilizados para o ensaio de ligação interna foi realizado no Laboratório de Painéis de Madeira. Os corpos-de-prova podem ser visualizados na Figura 6.

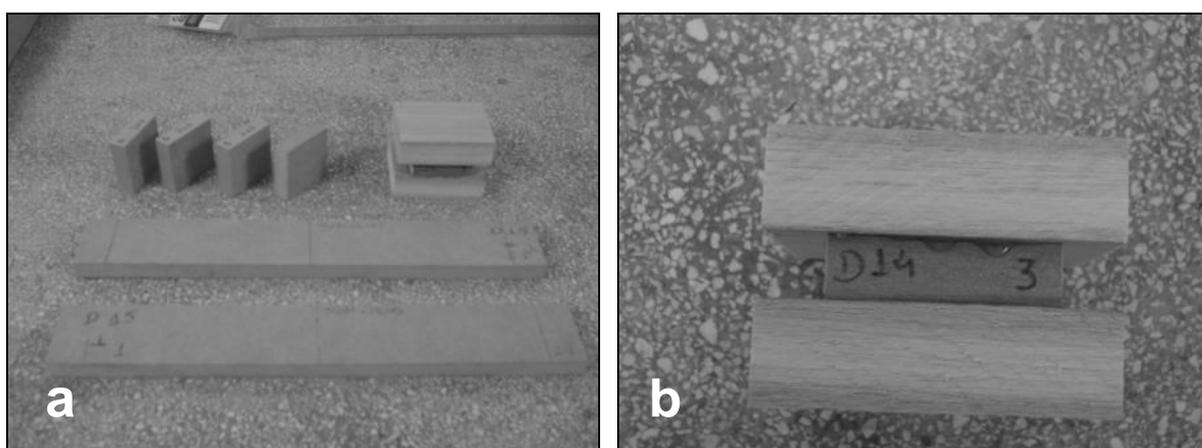


FIGURA 6 - CORPOS-DE-PROVA

NOTA: a) Corpos-de-prova de flexão (paralelo e perpendicular), densidade, perfil de densidade, absorção e inchamento; b) corpos-de-prova de ligação interna;

Após a confecção dos corpos-de-prova, foram realizadas as devidas identificações e todas as medições necessárias. Este procedimento foi feito com

lápiz-cópia para garantir que a identificação não fosse perdida, esse lápis é utilizado em laboratório e resiste à umidade.

Os corpos-de-prova foram submetidos a acondicionamento em Câmara Climatizada a 12% de umidade de equilíbrio,  $65 \pm 3\%$  de umidade relativa (UR) e a temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , até atingirem a umidade de equilíbrio de aproximadamente 12%, com exceção dos corpos-de-prova que seriam utilizados para determinar o teor de umidade do painel comercial, os quais permaneceram em condições normais de ambiente (Figura 7).

Também foi realizado um acompanhamento do teor de umidade dos corpos-de-prova climatizados para que fosse definida a umidade exata em que o material foi ensaiado.

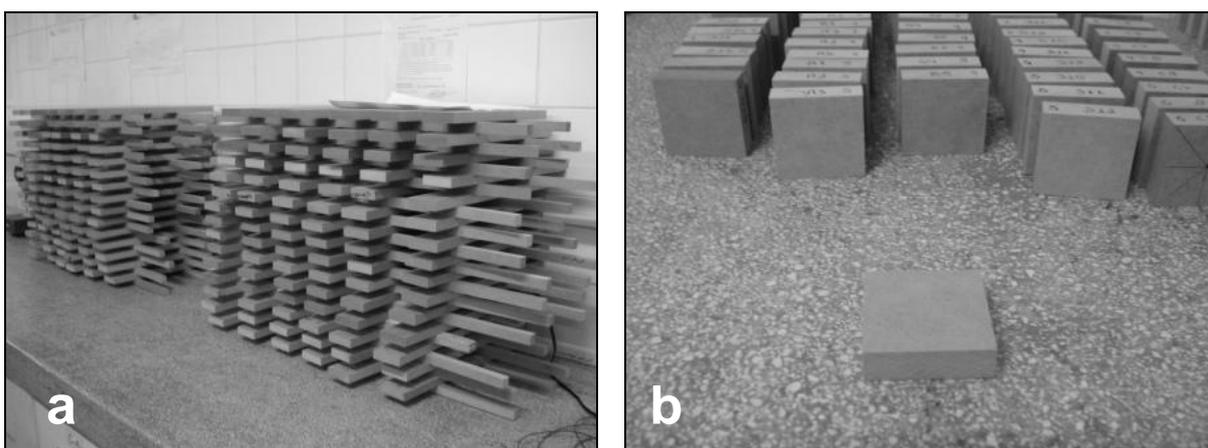


FIGURA 7 - CORPOS-DE-PROVA SENDO CLIMATIZADOS

NOTA: a) corpos-de-prova de flexão; b) corpos-de-prova de densidade, perfil de densidade, absorção de água e inchamento;

Para os ensaios foi utilizada uma máquina universal de ensaios da marca EMIC com capacidade máxima 300 KN. Foi utilizada também balança digital da marca *Ohaus* com capacidade de carga de 2 kg. e um Paquímetro Digital marca *Mitutoyo* com capacidade de medição de até 150 mm para determinar as dimensões. A espessura dos corpos-de-prova foi determinada através do Relógio Comparador. Ainda foi utilizado o equipamento medidor de densidade de raio X tipo DPX 200 da marca IMAL, integrado a balança de precisão, a um dispositivo para análise dimensional (altura, espessura, largura).

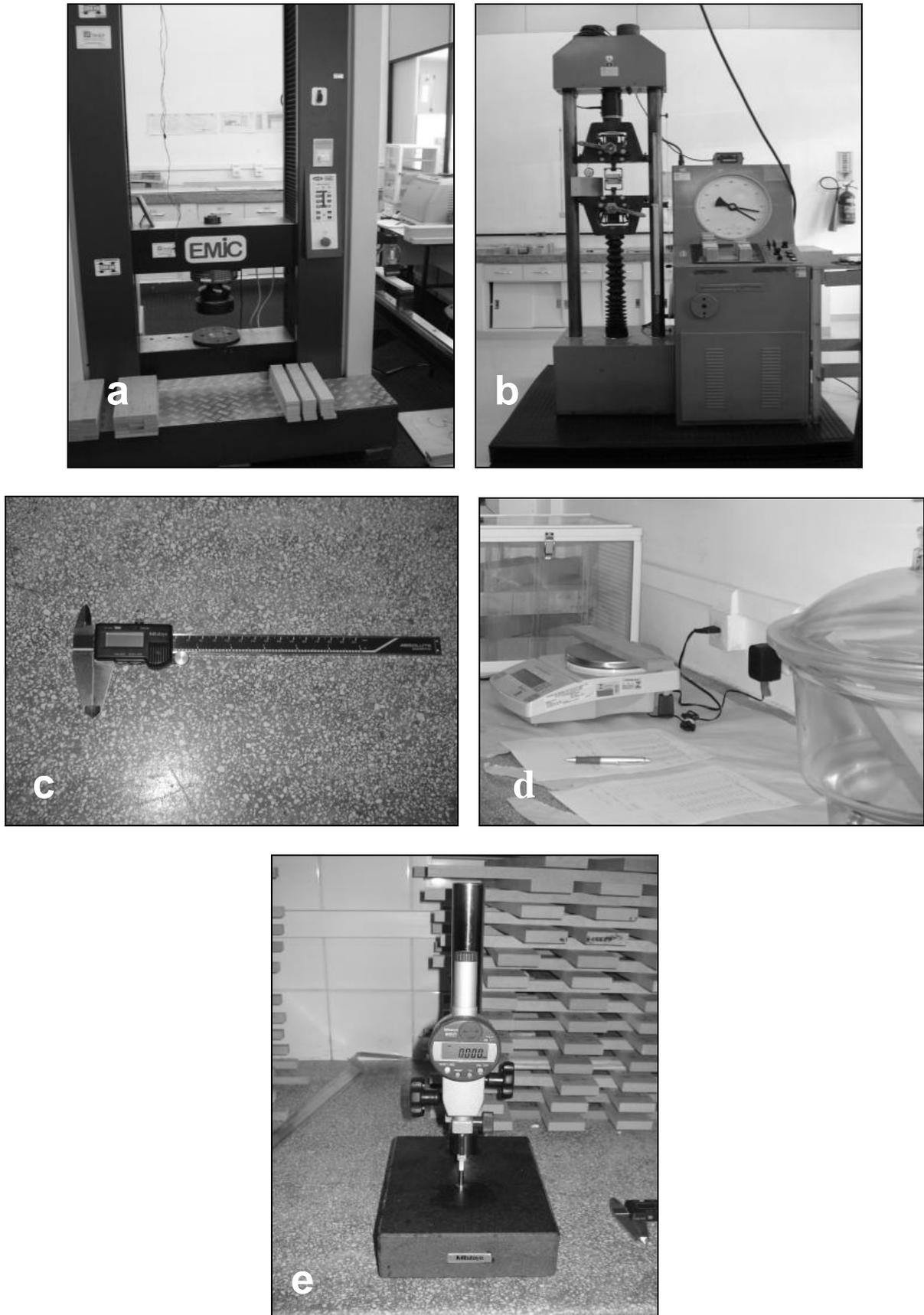


FIGURA 8 - PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA COLETA DE DADOS

NOTA: a) máquina Universal de ensaios EMIC; b) máquina para ensaio de resistência a tração;  
c) paquímetro digital; d) balança digital; e) relógio comparador;

### 3.4.1 Descrição dos ensaios físico-mecânicos de painéis MDF

Todos os procedimentos de execução de ensaios utilizados foram baseados nas normas EN e os procedimentos são descritos a seguir:

Para realização do ensaio de Absorção de Água e Inchamento em espessura, todos os corpos-de-prova foram pesados na balança analítica, as medidas de espessuras foram feitas no relógio comparador e colocados todos eles ao mesmo tempo num recipiente em água fria, a temperatura ambiente. Foram retirados exatamente 2 horas depois, foi removido o excesso de água, e passaram novamente pela balança e pelo relógio comparador. Em seguida foram recolocados no recipiente por mais 22 horas até completar às 24 horas de imersão, conforme determina a norma EN 317. Concluído este procedimento os corpos-de-prova foram pesados e seus valores registrados para a definição da Absorção de água e Inchamento do MDF.

Os corpos-de-prova utilizados para determinação do teor de umidade comercial não foram submetidos a climatização. Foi registrado para cada um deles o Peso Inicial ( $P_0$ ) e posteriormente eles foram colocados em Estufa digital, com pouca variação na temperatura, a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  até chegarem à massa constante.

Os primeiros procedimentos para o ensaio de densidade foram a determinações das medidas de espessura, através do relógio comparador, conforme Figura 9 (e), do comprimento e da largura, com o uso do paquímetro digital, e ainda do peso na balança analítica, este último conforme demonstrado na Figura 9 (d).

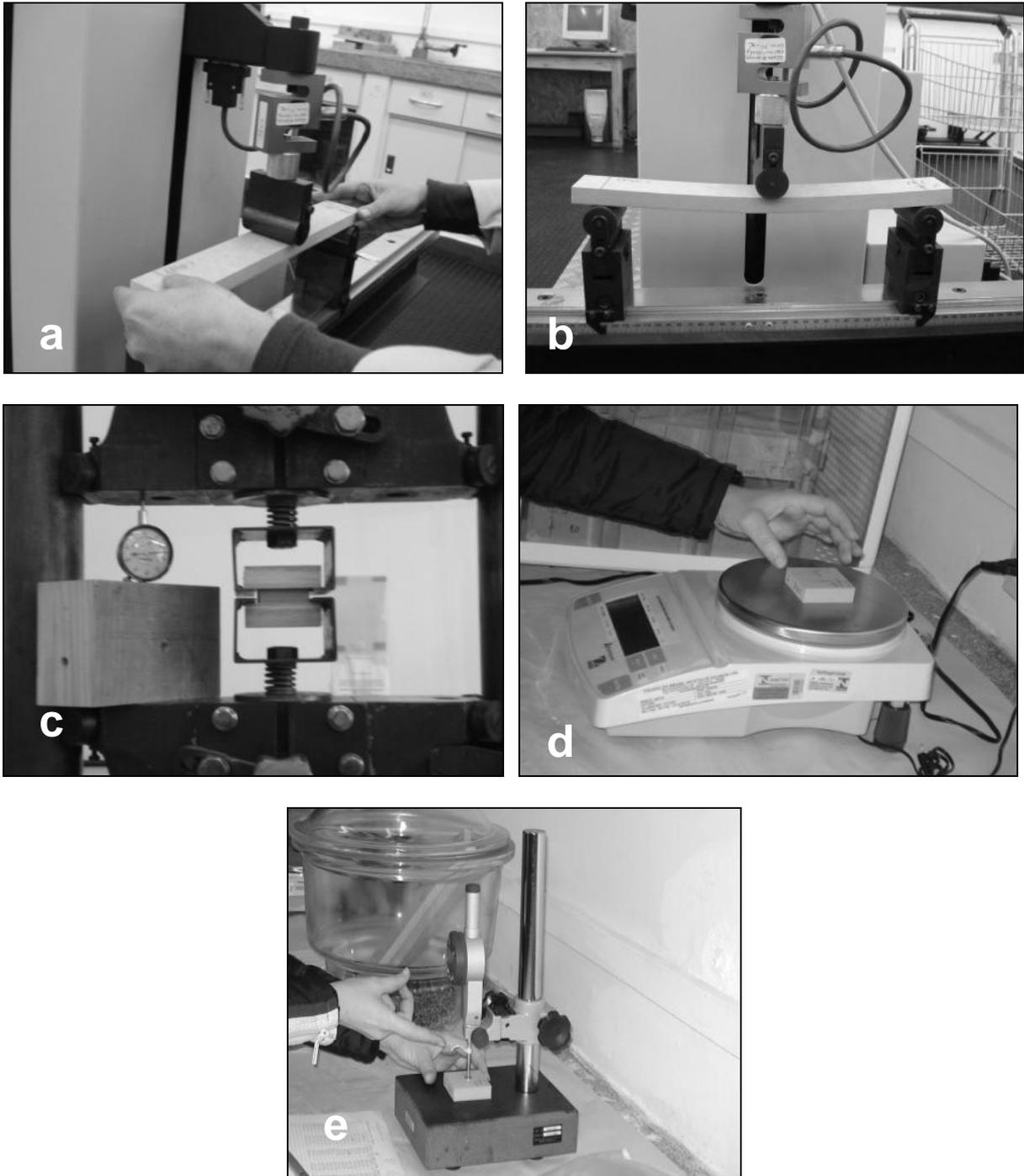


FIGURA 9 - EXECUÇÃO DOS PRINCIPAIS ENSAIOS

NOTA: a) corpo-de-prova de flexão a ser ensaiado; b) corpos-de-prova de flexão durante o ensaio; c) ensaio de Ligação Interna; d) pesagem dos corpos-de-prova de densidade; e) medida de espessura do corpo-de-prova;

Os ensaios de flexão estática foram determinados para a direção paralela e para a direção perpendicular, mesmo não sendo solicitado pela norma EN 310, no intuito de confirmar se há alguma diferença do módulo de elasticidade – MOE em flexão e da resistência à flexão – MOR entre as direções. Para este ensaio foram

medidas a largura (base), a altura (espessura), comprimento e peso, também com os equipamentos de medição já mencionados. A Figura 9 (a e b) mostra a disposição do corpo-de-prova na máquina Universal de Ensaios EMIC.

Para a execução dos ensaios de ligação interna (resistência a tração), foi medido o comprimento e a largura com o paquímetro digital, que seriam utilizados para calcular a área de aplicação da força. O ensaio de LI pode ser visualizado na Figura 9 (c).

O último ensaio realizado foi o de perfil de densidade, em que os corpos-de-prova foram submetidos à leitura da densidade, ponto a ponto, através de bloqueios de raio X no equipamento DPX 200 (Figura 10). A análise do Perfil de Densidade em laboratório é realizada colocando as amostras em um suporte adequado, dentro do equipamento, onde a velocidade máxima de medida é de 0,5 mm/s. Este ensaio, em particular, foi realizado no Laboratório da Indústria Berneck S. A. Painéis e Serrados.



FIGURA 10 – EQUIPAMENTO DPX 200 PARA MEDIR O PERFIL DE DENSIDADE  
FONTE: IMAL (2008).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o auxílio do teste de Tukey, foram comparadas, estatisticamente, as médias entre os resultados de MOE e MOR, densidade, absorção de água e inchamento em espessura, teor de umidade e ligação interna dos painéis da mesma empresa e entre os painéis de espécies diferentes com um nível de confiança de 95%. Na seqüência deste estudo serão apresentados os principais resultados obtidos.

### 4.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

Watkinson & van Gosliga (1990) afirmam que todas as propriedades mecânicas variam significativamente com a variação do teor de umidade em painéis. Os valores médios do teor umidade dos painéis testados estão apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DO TEOR DE UMIDADE DOS PAINÉIS POR EMPRESA E ESPÉCIE

<b>Empresa/Espécie*</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>	<b>CV (%)</b>
D/P	8,98 a	17,32
D/E	9,04 a	16,43
C/P	10,12 b	7,50
A/P	10,14 b	1,29
B/P	10,21 b	2,24

NOTA: \* P = pinus; E = eucalipto; CV = coeficiente de variação.

Todos os resultados obtidos de teor de umidade para as empresas avaliadas atendem aos requisitos da Norma Brasileira ABNT NBR 15316-2 e conseqüentemente a sua correspondente da Norma Européia, que delimitam a umidade mínima de 4% e a máxima em 11%.

A Empresa B, espécie pinus, apresentou o maior valor de teor de umidade e o menor valor encontrado foi da Empresa D com os painéis de pinus. No entanto a análise estatística indica que a média de teor de umidade dos painéis das empresas A,B e C não diferem entre si, mas a média referente a essas empresas é maior que a média do teor de umidade dos painéis da empresa D, tanto de pinus como d eucalipto.

Na análise estatística de teor de umidade, foi utilizada como covariável a densidade dos painéis, uma vez que também foram avaliados painéis de espécies diferentes. No entanto, de acordo com o valor *F* da ANOVA, de 0,13, não significativo, ficou comprovado que a densidade não afeta o teor de umidade, pois os valores médios da densidade não diferem entre os painéis das empresas.

#### 4.2 DENSIDADE DOS PAINÉIS

É importante destacar que os resultados de densidade dos painéis são de grande relevância devida sua influência direta sobre as propriedades físico-mecânicas dos painéis. De acordo com Eleotério (2001) a densidade média é um dos fatores que mais influenciam as propriedades finais dos painéis. Os valores médios de densidade dos painéis testados estão apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 – VALORES MÉDIOS DE DENSIDADES DOS PAINÉIS POR EMPRESA E ESPÉCIE

<b>Empresa/Espécie*</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>CV (%)</b>
A/P	0,693 a	0,83
C/P	0,696 a	1,11
D/P	0,715 b	0,49
B/P	0,736 c	1,07
D/E	0,756 d	2,62

NOTA1:\* P = pinus; E = eucalipto; CV = coeficiente de variação.

NOTA 2: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade 95%

Painel de maior densidade é da empresa D e as empresas A e C possuem, estatisticamente, densidades iguais e menores que as demais. A densidade da espécie não influencia na densidade do painel, pois a mesma é calculada em função dos requisitos.

Todos os painéis satisfazem a especificação de densidade para painel MDF utilizado em condições secas entre  $650 \text{ kg/m}^3$  e  $800 \text{ kg/m}^3$ .

Os resultados de densidade comprovaram a característica de homogeneidade dos painéis MDF, durante os ensaios individuais das amostras, e nos resultados médios de cada empresa, uma vez que a variação entre os valores foi muita pequena.

#### 4.3 PERFIL DE DENSIDADE DOS PAINÉIS

Wilczynski & Kociszewski (2007) afirma que um típico MDF pode ser tratado como um painel de três camadas, com faces de alta densidade e uma camada interna de baixa densidade. As estruturas destas camadas diferem significativamente.

A determinação do perfil de densidade é essencial para avaliar a qualidade do painel e pode ser utilizada como parâmetro para otimização do processo produtivo. O melhor exemplo da sua importância é a possibilidade de acompanhar a distribuição das fibras pela formadora que tem influência direta na distribuição da massa, portanto na densidade ponto a ponto e na homogeneidade do painel MDF.

Para Eleotério (2001) a maior densidade nas faces é uma característica favorável presente nos painéis MDF. Esta maior densificação coincide com a região mais solicitada quando o painel trabalha sob o esforço de flexão estática. A menor quantidade de espaços vazios permite a pintura de maneira mais econômica e superfícies usinadas com menor rugosidade (ELEOTÉRIO, 2001).

Os valores médios do perfil de densidade dos painéis testados estão apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DO PERFIL DE DENSIDADE DOS PAINÉIS POR EMPRESA E ESPÉCIE

Empresa /espécie*	Densidade	Posição	Densidade	Posição	Densidade	Posição	Densidade
	Máxima Esquerda Kg/m <sup>3</sup>	Máxima Esquerda mm	Mínima Kg/m <sup>3</sup>	Mínima mm	Máxima Direita Kg/m <sup>3</sup>	Máxima Direita mm	Média Kg/m <sup>3</sup>
A/P	1006,67	0,23	612,33	7,70	984,67	15,02	689,67
B/P	977,33	0,18	667,33	7,52	961,33	14,98	884,00
C/P	1015,33	0,20	611,33	7,72	1006,33	15,12	688,67
D/P	1011,67	0,20	654,00	7,73	1005,67	15,18	707,67
D/E	984,33	0,20	650,00	7,80	966,33	15,17	747,00

NOTA1:\* P = pinus; E = eucalipto

NOTA 2: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade 95%

Os resultados obtidos em relação ao perfil de densidade de todos os painéis confirmam uma característica do Painel MDF em que as camadas mais externas são sempre mais densas que as camadas internas. Justifica-se este fato, pois as camadas externas, têm uma maior compactação, o que resulta em uma maior densidade. A densidade das camadas de painéis compostos de madeira é um dos fatores mais influentes e que afetam a resistência das propriedades das camadas (WILCZYNSKI & KOCISZEWSKI, 2007).

Ainda segundo Wilczynski & Kociszewski (2007) as diferenças relativas entre as propriedades de flexão das camadas externas e da camada interna são muito maiores que a diferença entre as densidades destas camadas. O que torna possível concluir que as propriedades mecânicas das camadas não são proporcionais as suas densidades.

Em relação à comparação desses resultados entre as empresas, verificou-se, durante os ensaios, que os painéis de pinus da empresa C (Figuras 11,12 e 13) apresentaram o maior nível de homogeneidade das fibras, seguidos dos painéis de eucalipto da empresa "D". Essa constatação foi feita a partir da localização da densidade Mínima no painel que estava bem centralizada em relação a densidade das camadas externas.

O bom desempenho demonstrado pelos resultados dos painéis de eucalipto é defendido por Krzysik et al (2001) que afirma que painéis feitos de fibras de eucaliptos apresentam melhores propriedades superficiais.

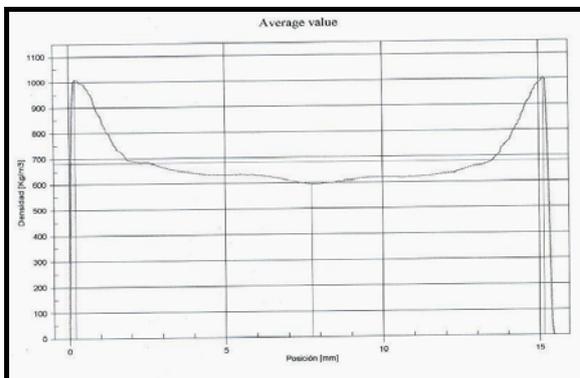


FIGURA 11 – PERFIL DE DENSIDADE C7  
FONTE: Relatório de ensaios (2008).

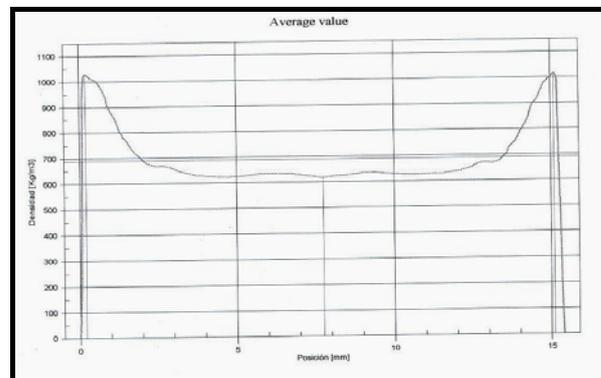


FIGURA 12 – PERFIL DE DENSIDADE C8  
FONTE: Relatório de ensaios (2008)

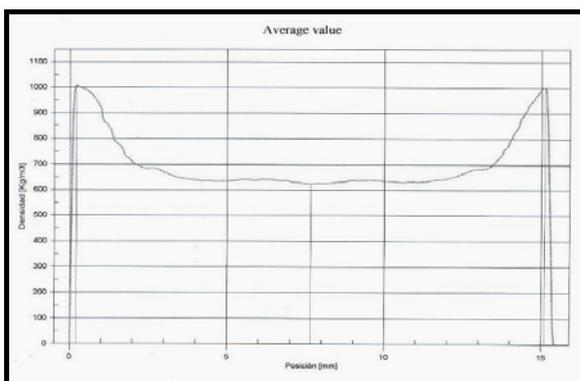


FIGURA 13 – PERFIL DE DENSIDADE C9  
FONTE: Relatório de ensaios (2008).

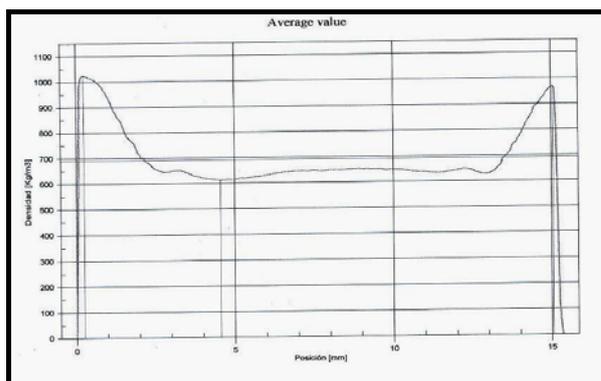


FIGURA 14 – PERFIL DE DENSIDADE A1  
FONTE: Relatório de ensaios (2008).

Também apresentaram bons resultados de perfil de densidade os painéis da empresa “B”. Os resultados da Empresa “A” foram os que apresentaram a densidade mínima, na média, menos centralizada (Figuras 14, 15 e 16).

De forma geral, em relação às densidades máximas, esquerda e direita, a primeira apresentou resultados mais elevados em relação à segunda. Normalmente a face superior do painel é um pouco mais densa que a face inferior, o que pode justificar a diferença entre essas densidades.

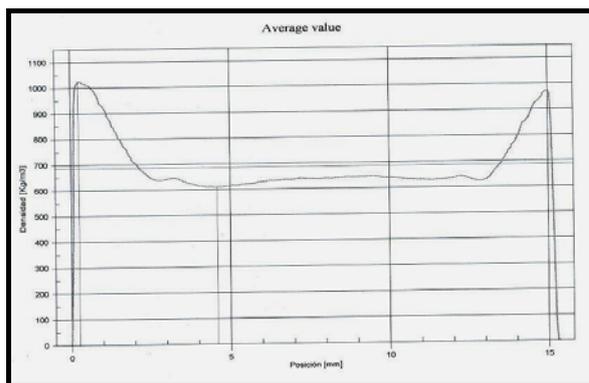


FIGURA 15 – PERFIL DE DENSIDADE A2  
 FONTE: Relatório de ensaios (2008).

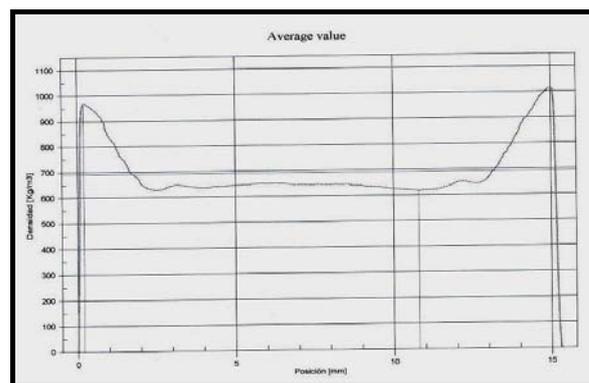


FIGURA 16 – PERFIL DE DENSIDADE A3  
 FONTE: Relatório de ensaios (2008)

Teoricamente os ensaios de ruptura, seja flexão o de resistência a tração perpendicular tendem a romper na menor densidade, neste caso há uma ligação direta dos resultados e eles poderiam, em estudos mais aprofundados serem comparados.

#### 4.4 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS – ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO

Os valores médios das propriedades de absorção de água e inchamento em espessura após 2 horas e 24 horas de imersão em água estão apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 – ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA

<b>Empresa/ espécie</b>	<b>AA-2H (%)</b>	<b>CV (%)</b>	<b>AA-24H (%)</b>	<b>CV (%)</b>	<b>IE-2H (%)</b>	<b>CV (%)</b>	<b>IE -24 H (%)</b>	<b>CV (%)</b>
A/P	2,06 a	12,59	8,54 a	9,56	0,84 a	28,84	4,01 a	10,71
B/P	2,58 b	11,79	11,08 b	5,63	1,47 b	13,49	7,53 c	7,85
C/P	3,20 c	24,04	10,82 b	10,71	1,73 b	26,13	6,34 b	7,23
D/P	2,93 c	12,19	12,94 c	10,35	2,24 c	27,77	7,79 c	5,01
D/E	4,33 d	8,99	16,38 d	6,75	2,41 c	23,30	7,72 c	5,06

NOTA 1: Médias seguidas de mesma letra são estatisticamente iguais ao nível de probabilidade 95%

NOTA 2: AA = absorção de água; IE = inchamento em espessura; CV = coeficiente de variação;

NOTA 3: Sem efeito da covariável densidade

Os resultados de absorção de água para 2 horas e 24 horas apresentaram diferenças estatisticamente significativas, demonstrando características de absorção diferenciadas para os painéis, principalmente entre espécies de pinus e de eucalipto. Os painéis da Empresa A apresentaram os menores percentuais de Absorção de Água para seus painéis e conseqüentemente os melhores resultados em relação às demais empresas. A empresa D demonstrou os resultados menos satisfatórios, em relação à absorção de água de seus painéis.

No entanto, o resultado menos satisfatório da Empresa D (E), recai justamente na espécie de Eucalipto, o que comprova que os painéis MDF de eucalipto têm maior absorção de água que os painéis de MDF de pinus. Essa constatação também foi feita por Krzysik et al (2001) que obteve valores de absorção de água para painéis MDF de *Eucalyptus globulus maiores que os valores referentes a painéis feitos de Pinus pinaster*.

Os resultados relativos ao Inchamento em espessura apresentaram tendências similares dos resultados de Absorção de água. De acordo com Eleotério (2000) a absorção de água determina o inchamento, o que explica a correlação entre essas duas variáveis. A Empresa "A" mostrou a melhor resposta apresentando menores percentuais de inchamento em espessura tanto para 2 horas, quanto para 24 horas de imersão em água.

A Empresa "D" apresentou os maiores valores de inchamento para os dois períodos analisados, e eles são estatisticamente iguais para os painéis de pinus e de eucalipto. Uma vez que a empresa D apresentou valores mais altos de densidade dos painéis, pode-se considerar a afirmação de Maloney (1989) de que a densidade ocasiona aumento do inchamento em espessura.

Os resultados de inchamento em espessura foram aprovados para todas as empresas de acordo com a EN 622 que apresenta o limite máximo de 12 % para espessura nominal de 12 a 19 mm.

Os resultados de absorção de água e inchamento e espessura para a espécie de eucalipto vão de encontro aos resultados encontrados por Krzysik et al, (2001)

que realizou ensaios com MDF de *Eucalyptus saligna* e obteve resultados bem inferiores aos níveis máximos especificados de todos os painéis de MDF ensaiados.

No entanto, para Eleotério (2000) a densidade média apresenta um efeito conflitante, por um lado, o aumento da massa origina uma maior pressão para o inchamento quando umedecida, por outro lado, uma maior densidade origina maior eficiência da resina, restringindo o inchamento.

#### 4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) em flexão estática dos painéis e os valores médios de resistência a tração perpendicular (Ligação Interna) estão apresentados nas Tabelas 13 e 14 respectivamente.

TABELA 13 - FLEXÃO ESTÁTICA PARALELA E PERPENDICULAR – VALORES DE MOE E MOR

Empresa /Espécie*	Flexão Paralela			Flexão Perpendicular		
	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	MOE (MPa)	MOR (MPa)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	MOE (MPa)	MOR (MPa)
A/P	686,59	3046,20 c	39,10 d	672,28	3312,32 d	42,46 c
B/P	728,97	2886,82 a	30,45 a	739,26	3131,84 b	33,32 a
C/P	688,93	3090,29 c	36,73 c	696,78	3220,47 c	38,36 b
D/P	705,82	2941,89 b	32,78 b	715,35	3004,11 a	34,62 a
D/E	734,72	3241,38 d	33,55 b	729,26	3159,97 b	33,95 a

FONTE: Relatório de ensaios (2008).

NOTA1: Método Tukey, médias pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (95% de confiança). Ajuste Densidade Média 709 Kg/m<sup>3</sup> para Flexão Paralela e 710 Kg/m<sup>3</sup> para Flexão Perpendicular. Análise de Covariância (covariável – densidade).

NOTA 2:\* P = pinus; E = eucalipto.

De acordo com a característica do painel MDF de homogeneidade e também segundo as Normas, não é necessário os ensaios no sentido paralelo e perpendicular, porque teoricamente não haveria diferença. No entanto os resultados mostram diferenças significativas entre os sentidos dos painéis. Tanto para o MOE, quanto para o MOR, para quase totalidade dos dados, os resultados no sentido

perpendicular foram ligeiramente superiores em relação ao sentido paralelo. A exceção para este caso verifica-se para os painéis da Empresa D, produzidos com fibras de eucalipto.

Como resultado geral os painéis de pinus da Empresa “A” apresentaram valores médios de MOR, paralelo de 39,10 MPa e perpendicular 42,46 MPa, estatisticamente superiores em relação aos painéis produzidos pelas demais empresas, inclusive em comparação aos painéis de eucalipto. Os resultados menos satisfatórios foram da Empresa B, no sentido paralelo. Na comparação entre os painéis de pinus e de eucalipto produzidos pela empresa D, observa-se que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias de MOR, tanto no sentido paralelo, quanto no perpendicular.

Já, para o MOE, paralelo e perpendicular, não foi possível identificar claramente o diferencial entre os produtos das empresas pesquisadas. No sentido paralelo, os painéis de eucalipto da empresa D apresentaram média estatisticamente superior em relação aos painéis das demais empresas. No sentido perpendicular, os painéis da empresa A apresentaram média estatisticamente superior em relação às demais.

Todas as empresas e seus painéis satisfazem a Tabela 3 da Norma EN 622 com resultados bem superiores aos requisitos mínimos para resistência a flexão de 20 N/mm<sup>2</sup> (ou MPa) e módulo de elasticidade de 2200 N/mm<sup>2</sup>.

Todos os resultados encontrados para tensão aplicada no ensaio de ligação interna (Tabela 14), ou de resistência a tração perpendicular não satisfazem as normas por que estão abaixo do mínimo requisitado. Estatisticamente, o melhor resultado, e mais próximo a atender as especificações da Norma, é o resultado obtido pela empresa “A”.

TABELA 14 - LIGAÇÃO INTERNA

Empresa /Espécie*	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Tensão (MPa)	CV (%)
A/P	693,63	0,53 d	13,63
B/P	736,10	0,34 b	24,89
C/P	696,07	0,41 c	17,78
D/P	715,83	0,35 b	25,35
D/E	756,13	0,30 a	37,97

NOTA1: Método Tukey, médias pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (95% de confiança). Ajuste Densidade Média 719 Kg/m<sup>3</sup>. Análise de Covariância (covariável – densidade)  
 NOTA2: \* P = pinus; E = eucalipto; CV = coeficiente de variação.

Já a empresa “D”, em especial os painéis de eucalipto obtiveram os piores resultados conforme a média apresentada na Tabela 14. Esses resultados refletem o fato de que 50% dos corpos-de-prova da Empresa “D” com painéis de eucalipto sofreram uma pré-ruptura antes mesmo de serem ensaiados, conforme pode ser observado na Figura 17. Esses resultados podem ter sido consequência de problemas na prensagem, prejudicando a polimerização da resina. Mas este problema é grave e reflete diretamente no cliente final que pode estar adquirindo um painel de baixa resistência a Tração perpendicular e pagando preços similares a painéis mais resistentes.

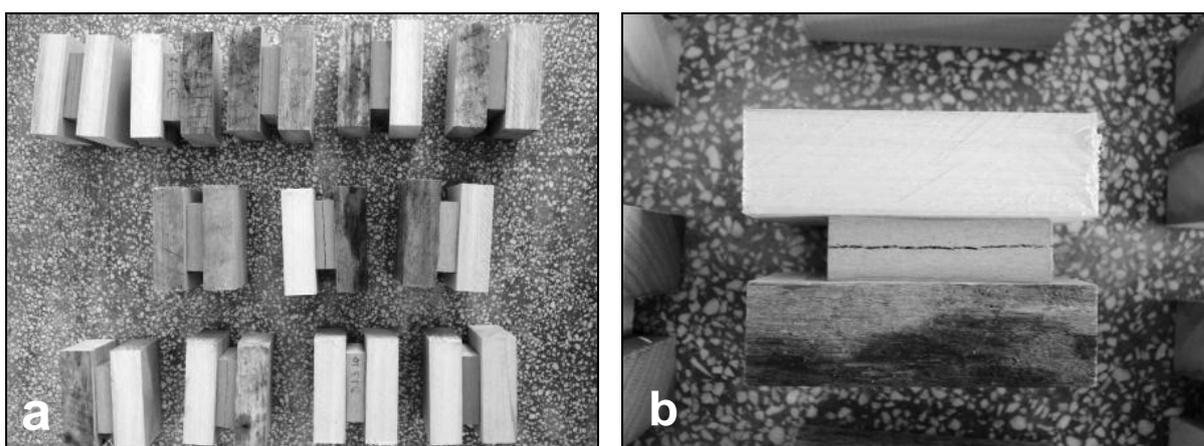


FIGURA 17 - ENSAIO DE LIGAÇÃO INTERNA

NOTA: a) e b) corpos-de-prova de ligação interna com ruptura antes do ensaio;

Para efeitos de ilustração, amostras dos corpos-de-prova ensaiados podem ser visualizadas na Figura 18.

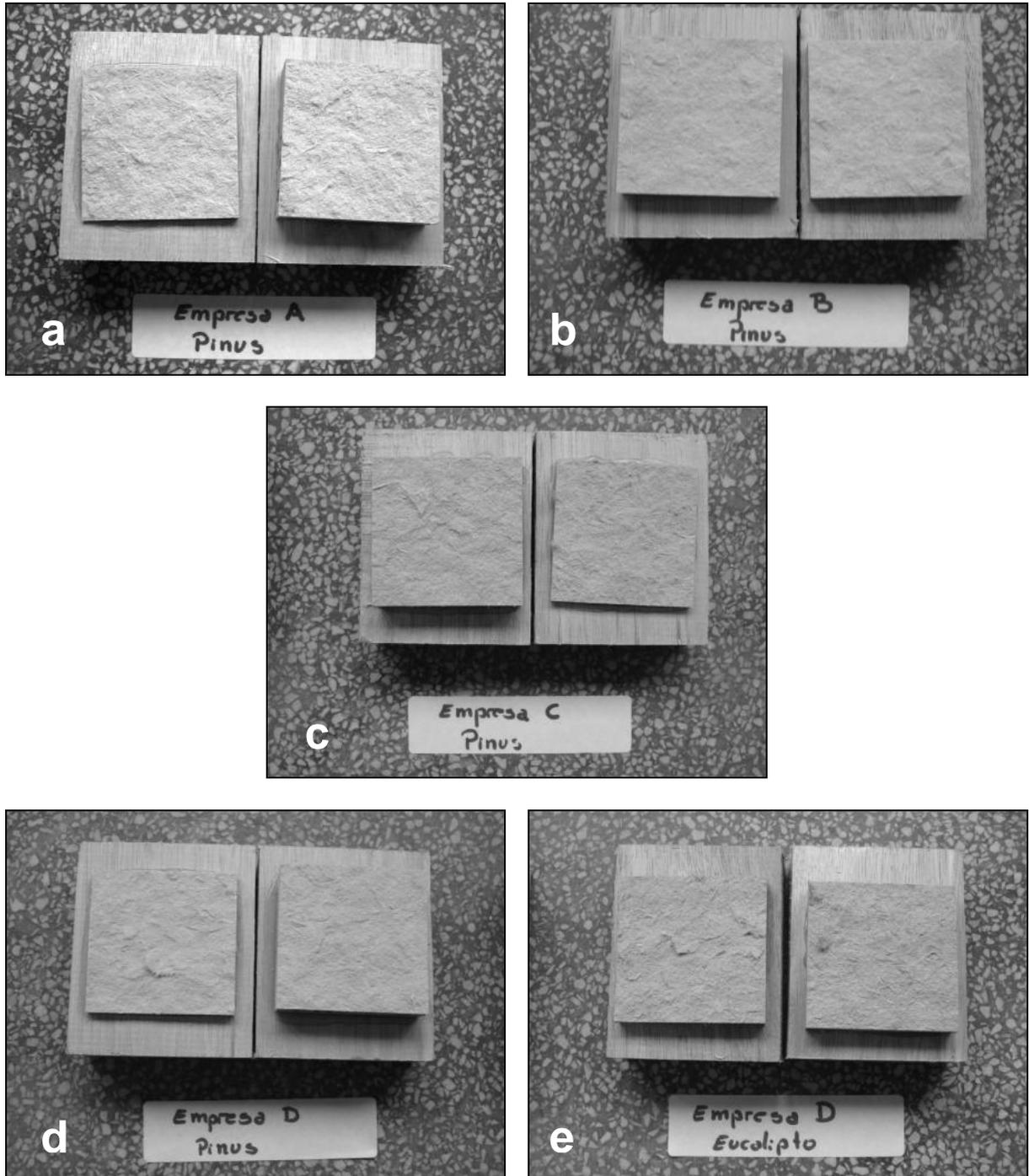


FIGURA 18 - AMOSTRAS DE L.I. APÓS ENSAIOS

NOTA: a) amostra empresa A – pinus; b) amostra empresa B – pinus; c) amostra empresa C – pinus; d) amostra empresa D – pinus; e) amostra empresa D – eucalipto;

Os bons resultados obtidos pela empresa A nos ensaios mecânicos para painéis de pinus podem ser justificados pelo fato de que geralmente o uso de espécie de madeira de baixa densidade favorece a produção de painéis com melhores propriedades mecânicas em relação às espécies de madeira de densidade alta. A baixa densidade possibilita uma compactação maior das fibras e conseqüentemente uma melhor colagem (MALONEY,1989).

## 5 CONCLUSÃO

A maior média relativa ao teor de umidade foi de 10,21% da Empresa B, espécie de pinus, e o valor mínimo encontrado foi de 8,98% da empresa D também para espécie de pinus. Neste caso foi comprovado que o valor da densidade não afeta o teor de umidade.

Os valores de densidade foram bastante homogêneos, característico do painel MDF. A empresa D apresentou o maior valor médio de densidade de 0,756 g/cm<sup>3</sup>, para os painéis de eucalipto. Os menores valores médios foram das empresas A e C sendo 0,693 g/cm<sup>3</sup> e 0,696 g/cm<sup>3</sup> respectivamente.

A análise do perfil de densidade confirmou as densidades mais altas para as camadas externas em todos os painéis. A densidade mínima da camada interna, nem sempre coincidiu com o centro. Os painéis da empresa C apresentaram os melhores resultados, com densidade mínima de 661,33 Kg/m<sup>3</sup>. O resultado menos satisfatório foi da Empresa A, sendo os valores médios menos centralizados.

Em absorção de água e inchamento em espessura a empresa A apresentou os menores, e conseqüentemente os melhores, percentuais sendo seus valores médios de 8,54% em absorção, e 4,01% de inchamento após 24 horas de imersão em água. Os maiores percentuais e os menos satisfatórios foram da Empresa D, para eucalipto, comprovando que os painéis MDF de eucalipto têm maior absorção de água que os painéis de pinus.

Os resultados de MOE e MOR, foram ligeiramente superiores no sentido perpendicular. Os painéis de pinus da empresa A apresentaram os melhores resultados médios de MOR de 39,10 MPa no sentido paralelo e de 42,46 MPa no sentido perpendicular, até mesmo em relação aos painéis de eucalipto, que apresentaram bons valores de MOE e MOR, mas não foram, de forma geral, caracterizados como mais resistentes que os painéis de pinus, pois seus resultados são estatisticamente iguais a outros painéis de pinus na maioria dos casos, inclusive se comparado ao painel de pinus também da empresa D .

Os valores médios de ligação interna não atenderam as exigências mínimas das normas de 0,55 N/mm<sup>2</sup>. O resultado mais próximo a mínimo requisitado foi da empresa A de 0,53 MPa e o menos satisfatório, foi da empresa D, para espécie de eucalipto com 0,30 MPa.

Dessa forma, é possível concluir que a determinação das principais características físicas e mecânicas dos Painéis MDF nacionais, do tipo *Standard*, Cru, de 15 mm de espessura, asseguram propriedades satisfatórias as exigências das normas e a sua aplicação para uso estrutural em condições secas, com exceção aos resultados de Ligação Interna. É importante ressaltar que problemas como o de ligação interna, em que alguns corpos-de-prova romperam antes mesmo de serem submetidos aos ensaios, refletem diretamente no cliente final que pode estar adquirindo um painel de baixa resistência a tração perpendicular e pagando preços similares a painéis mais resistentes.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Baseado no contexto apresentado inicialmente e em fatos que se tornaram conhecidos no decorrer das atividades desse trabalho, recomenda-se:

- Pesquisas que analisem e compare, entre as propriedades normalmente estudadas, a emissão de formaldeído dos painéis, atual exigência de mercado;
- Ir além do atendimento aos requisitos normativos e programas de gestão limitados a documentos, e estabelecer um Programa de Padronização de Parâmetros de Processo Produtivo que caracterize a indústria de MDF do Brasil, a exemplo da Indústria de painéis compensados;
- Fazer mais estudos comparativos entre os painéis MDF de pinus, eucalipto e outras espécies potenciais a serem utilizadas como matéria-prima deste produto;
- Estender a prática das empresas produtoras de painéis em comparar diversas espessuras comerciais para determinar a qualidade e as propriedades dos painéis dos concorrentes a laboratórios independentes para analisar os painéis oferecidos no mercado com imparcialidade e credibilidade.
- Desenvolver estudos mais aprofundados que relacionem o Perfil de densidade com os ensaios de ruptura, seja flexão ou de resistência a tração perpendicular, que teoricamente tendem a romper na menor densidade, neste caso há uma ligação direta dos resultados.

## REFERÊNCIAS

- ABIPA. **Nossas unidades industriais**. Disponível em: <http://www.abipa.org.br/industrias.php>>. Acesso em: 17 de julho de 2004.
- ABIPA. **Nossas unidades industriais**. Disponível em: <http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 17 de julho de 2004.
- ABIMCI. **Painéis de madeira fabricados no Brasil e suas particularidades**. Artigo Técnico nº 1. Curitiba. 2003.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316-1**: Chapas de fibras de média densidade. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316-2**: Chapas de fibras de média densidade. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316-3**: Chapas de fibras de média densidade. Parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2006.
- BAY- CORPORATION. Conversão de unidades. Disponível em: <Http://www.bay-corporation.com/Conversion.html> -. Acesso em: 29 de junho de 2008.
- BELINI, L. U; TOMAZELLO, M.; LEITE, M. K.; BALLARIN, A., W.; **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF confeccionados com madeira de eucalyptus grandis**. In: XI – EBRAMEM, 2008, Londrina. Anais.Londrina:UEL, Londrina, 2008.
- BELINI, U.L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF**. 2007.90 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – ESALQ/USP, Piracicaba. 2007.
- BNDES. **Setorial: Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Rio de Janeiro, n 27, p.121-156, mar. 2008.

BRASIL. **Cadeia produtiva de madeira**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Política Agrícola, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura; coordenadores Antonio Márcio Buainain e Mário Otávio Batalha. – Brasília : IICA : MAPA/ SPA, 2007.84 p. ; 17,5 x 24 cm – (Agronegócios ; v. 6)

CAMPOS, Cristiane Inácio y ROCCO LAHR, Francisco Antonio. **Caracterización del MDF Producido a Partir de Eucalipto y Adhesivo Poliuretano Natural**. *Maderas, Cienc. tecnol.*, 2004, vol.6, no.1, p.73-84. ISSN 0718-221X.

CAMPOS, C. I. ; LAHR.; **Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando uréia-formaldeído**. *Matéria*, vol. 9, Nº 1 (2004) 32 – 42.

CHOW, P.; Bajwa, Dilpreet Singh. In: Rowell, Roger M.; Young, Raymond A.; Rowell, Judith, K. **Paper and composites from agro-based resources**. Processing into Composites. Boca Raton, FL: CRC Lewis Publishers: 269-299. Chap. 8. 1997.

ELEOTÉRIO JR., J. R. **Propriedades físicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 121 p. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba; São Paulo, 2000.

EPF - EUROPEAN PANEL FEDERATION. **MDF**. Disponível em: <http://www.europanel.eu/mdf/>. Acesso em: 30 de junho de 2008

EPF - EUROPEAN PANEL FEDERATION. **Publications and presentations**. Disponível em: [http://www.europanel.org/main\\_tc.html](http://www.europanel.org/main_tc.html). Acesso em: 30 de junho de 2008

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 310-** Particleboards and Fiberboards – Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 317-** Particleboards and Fiberboards – Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 319** – particleboards and Fiberboards – determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 317** –particleboards and Fiberboards – determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 323** – wood based panels – determination of density. Bruxelas, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **European Standard EN 622** – Tableros de fibras – Especificaciones. Parte 5 : Requisitos de los tableros de fibras fabricados por proceso seco . Bruxelas, 2006.

FAO. **Fibreboard and particleboard**. Italy, Third printing, 1958.

FAO. **Tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina y el Caribe**. Roma, 2006. Estudio FAO Montes: 148

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook** - Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL GTR 113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. 463 p. 1999.

GAY, P. *et al.* **L'Atlas du bois**. Paris: Editions de Monza, 2001.

GAZETA DO POVO. **Chilena dobra de tamanho no Paraná**. Disponível em: <http://portal.rpc.com.br/gazetadopovo/imprensa/economia/conteudo.phtml?tl=1&id=722112&tit=Chilena-dobra-de-tamanho-no-Parana>. Acesso em: em 15 de dezembro de 2007

GAZETA DO POVO . **Empresa do Paraná produzirá painéis de madeira no Uruguai**. Disponível em: <http://portal.rpc.com.br/gazetadopovo/imprensa/economia/conteudo.phtml?tl=1&id=710556&tit=Empresa-do-Parana-produzira-paineis-de-madeira-no-Uruquai>. Acesso em: 06 de novembro de 2007.

GAZETA MERCANTIL. **Masisa mantém projeto de MDF em Montenegro**. Disponível em: [www.gazeta.com.br/integraNoticia.aspx?Param=2%2C0%2C+%2C814414%2CUIOU](http://www.gazeta.com.br/integraNoticia.aspx?Param=2%2C0%2C+%2C814414%2CUIOU). Acesso: 10 de setembro de 2007.

GAZETA MERCANTIL. **Masisa vai às compras para crescer no País.** Disponível em: <http://www.gazeta.com.br/integraNoticia.aspx?Param=28%2C0%2C1378476%2CUIOU>. Acesso em: 17 de janeiro de 2008

GROOM, L. H.; MOTT, L.; SHALER, S. M.; PESACRETA, T.; **Effect of fiber surface and mechanical properties on the stiffness and strength of medium-density fiberboard.** IN: International Association of Wood Anatomists/ IUFRO. Westport, New Zealand, 1997. Proceedings. Sl: sd. P. 375-387.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas.** Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/7a12/mapas/brasil/brasil\\_grandes\\_regioes.pdf](http://www.ibge.gov.br/7a12/mapas/brasil/brasil_grandes_regioes.pdf). Acesso: 25 de setembro 2008.

IMAL. **Ficha técnica do produto DPX200.** Disponível em: <http://www.imal.it/home.php?myInc=cheda&sPID=54&sCID=16&sCTX=Laboratory%20machinery>. Acesso em: 30 de julho de 2008.

ITTO. **TTM Report** .Volume 12 Number 17, 1-15 September 2007

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

JORNAL BOM DIA. **Duratex investe R\$ 630 mi para virar maior do mundo.** Disponível em: <http://www.bomdiabauru.com.br/index.asp?jbd=3&id=241&mat=117387> Bauru – SP Acesso em: 8 de fevereiro de 2008.

KRZYSIK *et al*; **Medium density fiberboard made from Eucalyptus saligna.** Composites and manufactured products. Forest Products Journal, vol. 51, nº 10. 2001.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M.A. **Metodologia do trabalho científico.** Editora Atlas SA, 2ª Edição, 1989.

MALONEY, T.M.; **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing.** Miller Freeman, San Francisco, 1989. 672 p.

MALONEY, T.M.; **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing.** Updated edition covers composite wood products. Miller Freeman, San Francisco, 1993.

NELSON, N. D.; **Effects of wood and pulp properties on medium-density, dryformed hardboard.** Forest products journal, V. 23, n. 9 . p. 72-80, 1973.

PARANÁ SHOP. **Berneck S.A Painéis e Serrados é a nova denominação da tradicional empresa paranaense.** Disponível em: [http://www.paranashop.com.br/colunas/colunas\\_notas.php?id=18467](http://www.paranashop.com.br/colunas/colunas_notas.php?id=18467) . Acesso em: em 21 de março 2008.

PORTAL EXAME. **Eucatex investe R\$ 130 milhões para construir nova fábrica.** Disponível em: <http://portalexame.abril.com.br/negocios/m0150358.html>. Acesso em: 29 de janeiro de 2008.

PORTAL EXAME .**Construção civil.** Disponível em: <http://portalexame.abril.com.br/ae/negocio/m0143805.html>. Acesso em: 20 de novembro de 2007.

PORTAL MOVELEIRO. **Masisa firma acordo para venda da linha de produção de OSB.** Disponível em: [http://portalmoveleiro.com.br/redacao/nova\\_noticias.html?idGenero=1&deNoticia=noticias/not20071221\\_144822\\_86.html#](http://portalmoveleiro.com.br/redacao/nova_noticias.html?idGenero=1&deNoticia=noticias/not20071221_144822_86.html#). Acesso em: 23 de dezembro de 2007.

PORTAL MOVELEIRO. **Nova fábrica de painéis de madeira será construída em SC. Disponível em:** [http://portalmoveleiro.com.br/redacao/nova\\_noticias.html?idGenero=1&deNoticia](http://portalmoveleiro.com.br/redacao/nova_noticias.html?idGenero=1&deNoticia). Acesso em: 24 de setembro de 2007.

PORTAL MOVELEIRO. **Satipel investe R\$ 235 milhões em nova planta.** Disponível em: [http://portalmoveleiro.com.br/redacao/nova\\_noticias.html?idGenero=1&deNoticia=noticias/not20070919\\_114404\\_86.html#](http://portalmoveleiro.com.br/redacao/nova_noticias.html?idGenero=1&deNoticia=noticias/not20070919_114404_86.html#). Acesso em: 28 de setembro de 2007.

REMADE. **Revista da Madeira: Painéis – Cresce presença no setor.** Edição especial. Maio, 2003.

REFERÊNCIA. **Eucalipto.** Ano X. P.50. Edição nº 76. Fevereiro, 2008.

REFERÊNCIA. **Mercado está ávido por madeira de eucalipto.** Ano X. P. 35. Edição nº 76. Fevereiro, 2008.

REVISTA FATOR. **Satipel fecha 2007 com lucro líquido de R\$ 46 milhões.** Disponível em: [http://www.revistafator.com.br/ver\\_noticia.php?not=31247](http://www.revistafator.com.br/ver_noticia.php?not=31247) . Acesso em: 4 de dezembro de 2007.

SBS. **Fatos e Números do Brasil Florestal** .p 106. Novembro, 2006.

SILVA, S. A. M.; **Chapa de média densidade (MDF) fabricada com poliuretana mono-componente derivada de óleo de mamona – caracterização por método destrutivo e ultra-som**. Campinas, SP: (s.n), 2003.

SINGH, A. P.; McDonald, A. G.; **Comparison of radiata pine and rubberwood HTMP fibers by microscopy and MDF panel properties**. IN.: Pacific Regional Wood Anatomy Conference, 4. IAWA Journal, V. 19, n. 4 . p. 479. 1998.

TORQUATO, L.P.; **Estudo do Mercado Espanhol de Painéis Isolantes**. ISOROY – Grupo SONAE Indústria. UFPR. Curitiba, 2004.

WATKINSON, P.J.; van GOSLIGA, N.L.; Effects of humidity on physical and mechanical properties of New Zealand wood composites. Forest Products Journal, V. 40, n. 7/8, p. 15-20, 1990.

WILCZYNSKI, A.; KOCISZEWSKI M.; **Bending properties of particleboard and MDF layers**. Holzforschung, Vol. 61, pp. 717–722, 2007 • Berlin • New York. DOI 10.1515/HF.2007.116

**ANEXOS**

ANEXO 01	– ANÁLISE ESTATÍSTICA MDF – FLEXÃO	77
ANEXO 02	– ANÁLISE ESTATÍSTICA MDF – TENSÃO	83
ANEXO 03	– ANÁLISE ESTATÍSTICA MDF – ABSORÇÃO DE ÁGUA INCHAMENTO	84
ANEXO 04	– ANÁLISE ESTATÍSTICA MDF – ABSORÇÃO E INCHAMENTO CONSIDERANDO EFEITO DENSIDADE	88
ANEXO 05	– ANÁLISE ESTATÍSTICA – TEOR DE UMIDADE	93

## ANEXO 1: ANÁLISE ESTATÍSTICA MDF – FLEXAO

### Multifactor ANOVA - densid\_paralela

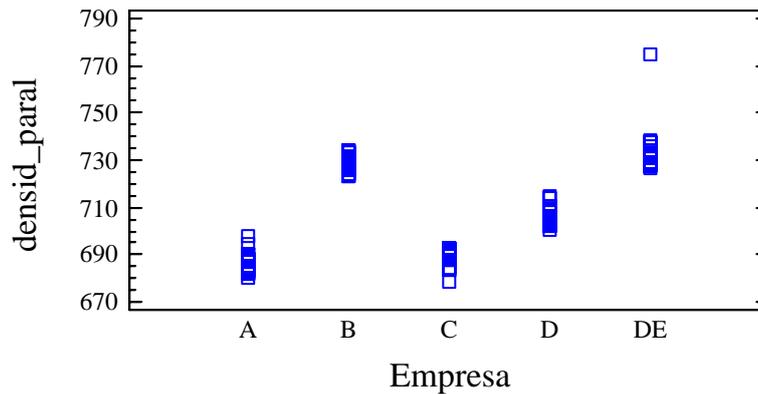
Analysis Summary

Dependent variable: densid\_paral

Factors: Empresa

Number of complete cases: 90

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for densid\_paral - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
-----					
MAIN EFFECTS					
A: Empresa	35561,2	4	8890,3	247,15	0,0000
RESIDUAL	3057,54	85	35,9711		
-----					
TOTAL (CORRECTED)	38618,8	89			
-----					

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for densid\_paral  
with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
-----					
GRAND MEAN	90	709,011			
Empresa					
A	18	686,595	1,41365	683,784	689,406
B	18	728,977	1,41365	726,166	731,788
C	18	688,932	1,41365	686,121	691,743
D	18	705,824	1,41365	703,014	708,635
DE	18	734,724	1,41365	731,914	737,535
-----					

Multiple Range Tests for densid\_paral by Empresa

Method: 95,0 percent Tukey HSD

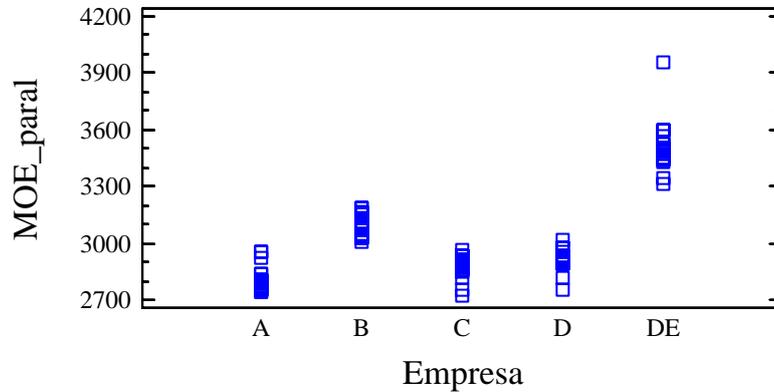
Empresa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-----			
A	18	686,595	X
C	18	688,932	X
D	18	705,824	X
B	18	728,977	XMultifactor ANOVA - MOE_paral
DE	18	734,724	X
-----			

Analysis Summary

Dependent variable: MOE\_paral

Factors: Empresa  
 Covariates: densid\_paral  
 Number of complete cases: 90

### Scatterplot by Level Code



#### Analysis of Variance for MOE\_paral - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
densid_paral	340102,0	1	340102,0	127,82	0,0000
MAIN EFFECTS					
A:Empresa	1,3578E6	4	339451,0	127,58	0,0000
RESIDUAL	223503,0	84	2660,75		
TOTAL (CORRECTED)	6,37825E6	89			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

#### Table of Least Squares Means for MOE\_paral with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	90	3041,31			
Empresa					
A	18	3046,2	24,1882	2998,1	3094,3
B	18	2886,82	22,243	2842,59	2931,05
C	18	3090,29	22,3306	3045,88	3134,69
D	18	2941,89	12,5161	2917,0	2966,78
DE	18	3241,38	26,8926	3187,9	3294,86

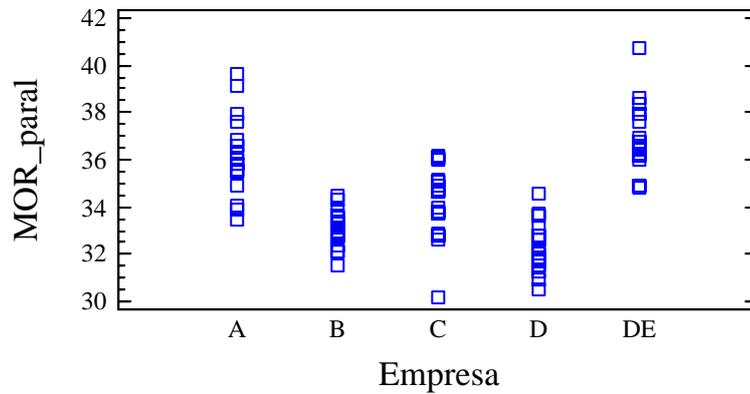
#### Multiple Range Tests for MOE\_paral by Empresa

Empresa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
B	18	2886,82	X
D	18	2941,89	X
A	18	3046,2	X
C	18	3090,29	X
DE	18	3241,38	X

XMultifactor ANOVA - MOR\_paral

Analysis Summary  
 Dependent variable: MOR\_paral  
 Factors: Empresa  
 Covariates: densid\_paral  
 Number of complete cases: 90

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for MOR\_paral - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
densid_paral	51,9505	1	51,9505	44,35	0,0000
MAIN EFFECTS					
A:Empresa	319,755	4	79,9387	68,24	0,0000
RESIDUAL	98,4014	84	1,17145		
TOTAL (CORRECTED)	426,735	89			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for MOR\_paral  
with 95,0 Percent Confidence Intervals

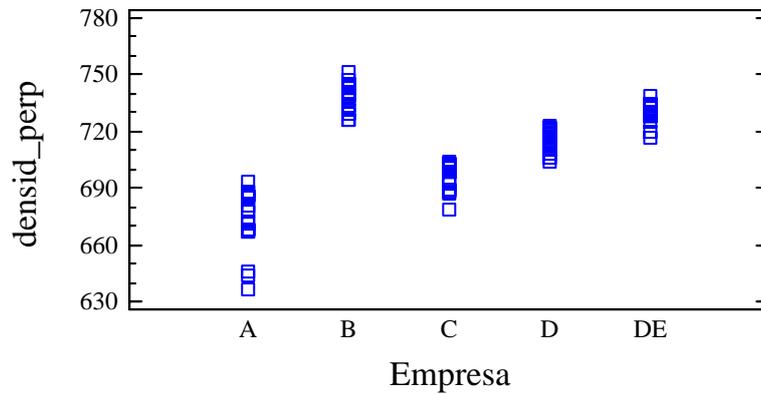
Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	90	34,5223			
Empresa					
A	18	39,0941	0,50753	38,0848	40,1033
B	18	30,449	0,466715	29,5209	31,3771
C	18	36,735	0,468553	35,8033	37,6668
D	18	32,7831	0,262621	32,2608	33,3053
DE	18	33,5505	0,564275	32,4283	34,6726

Multiple Range Tests for MOR\_paral by Empresa

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
Empresa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
B	18	30,449	X Multifactor ANOVA - densid_perp
D	18	32,7831	X
DE	18	33,5505	X
C	18	36,735	X
A	18	39,0941	X

Analysis Summary  
Dependent variable: densid\_perpendicular  
Factors: Empresa  
Number of complete cases: 90

## Scatterplot by Level Code



## Analysis of Variance for densid\_perp - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Empresa	51262,6	4	12815,7	150,16	0,0000
RESIDUAL	7254,3	85	85,3448		
TOTAL (CORRECTED)	58516,9	89			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

## Table of Least Squares Means for densid\_perp with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	90	710,571			
Empresa					
A	18	672,284	2,17747	667,954	676,613
B	18	739,264	2,17747	734,935	743,594
C	18	696,789	2,17747	692,46	701,119
D	18	715,349	2,17747	711,019	719,678
DE	18	729,171	2,17747	724,841	733,5

## Multiple Range Tests for densid\_perp by Empresa

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A	18	672,284	X
C	18	696,789	X
D	18	715,349	X
DE	18	729,171	X
B	18	739,264	X

## Multifactor ANOVA - MOE\_perp

Analysis Summary

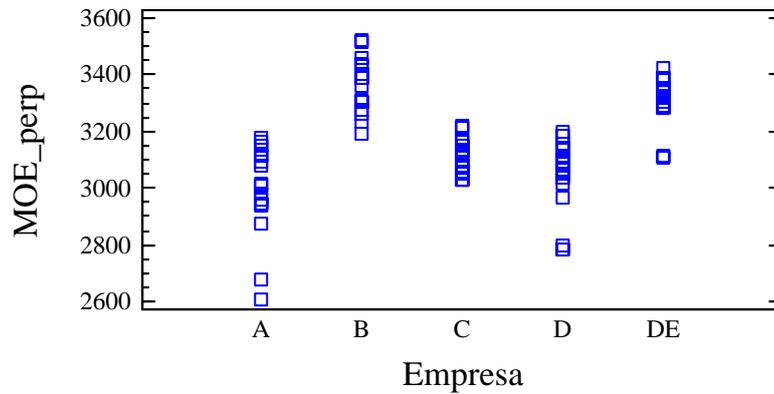
Dependent variable: MOE\_perp

Factors: Empresa

Covariates: densid\_perp

Number of complete cases: 90

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for MOE\_perp - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
densid_perp	482386,0	1	482386,0	72,55	0,0000
MAIN EFFECTS					
A:Empresa	558166,0	4	139541,0	20,99	0,0000
RESIDUAL	558507,0	84	6648,89		
TOTAL (CORRECTED)	2,96918E6	89			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for MOE\_perp  
with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	90	3165,74			
Empresa					
A	18	3312,32	41,3882	3230,01	3394,62
B	18	3131,84	33,5255	3065,17	3198,51
C	18	3220,47	23,3125	3174,11	3266,83
D	18	3004,11	19,756	2964,83	3043,4
DE	18	3159,97	26,2002	3107,87	3212,08

Multiple Range Tests for MOE\_perp by Empresa

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
D	18	3004,11	X
B	18	3131,84	X
DE	18	3159,97	XX
C	18	3220,47	X
A	18	3312,32	XMultifactor ANOVA - MOR_perp

Analysis Summary

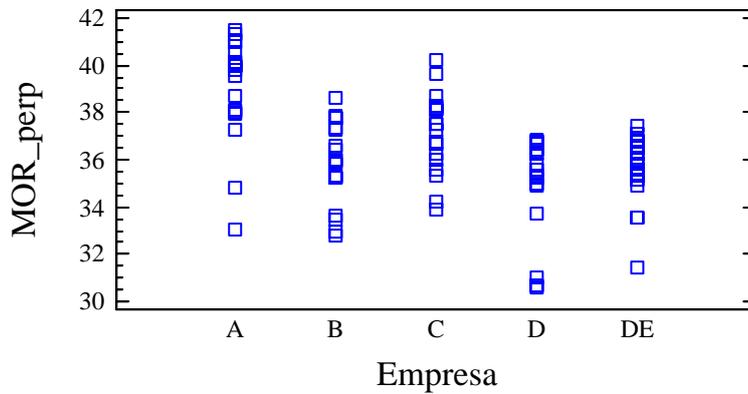
Dependent variable: MOR\_perp

Factors: Empresa

Covariates: densid\_perp

Number of complete cases: 90

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for MOR\_perp - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
densid_perp	58,1756	1	58,1756	19,77	0,0000
MAIN EFFECTS					
A:Empresa	171,902	4	42,9756	14,61	0,0000
RESIDUAL	247,157	84	2,94234		
TOTAL (CORRECTED)	486,681	89			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for MOR\_perp with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	90	36,5402			
Empresa					
A	18	42,462	0,870659	40,7306	44,1934
B	18	33,3177	0,705256	31,9152	34,7202
C	18	38,3564	0,490412	37,3812	39,3317
D	18	34,6177	0,415596	33,7913	35,4442
DE	18	33,9472	0,551158	32,8511	35,0432

Multiple Range Tests for MOR\_perp by Empresa

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
B	18	33,3177	X
DE	18	33,9472	X
D	18	34,6177	X
C	18	38,3564	X
A	18	42,462	X

## ANEXO 2: ANÁLISE ESTATÍSTICA MDF –TENSÃO

### Multifactor ANOVA - Tensao\_MPa

Analysis Summary

Dependent variable: Tensao\_MPa

Factors: Empresa\_Especie

Number of complete cases: 150

Analysis of Variance for Tensao\_MPa - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
-----					
MAIN EFFECTS					
A:Empresa_Especie	1,39951	4	0,349877	52,40	0,0000
RESIDUAL	0,96812	145	0,00667669		
-----					
TOTAL (CORRECTED)	2,36763	149			
-----					

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
-----					
GRAND MEAN	150	0,372267			
Empresa_Especie					
A - P	30	0,527	0,0149183	0,497514	0,556486
B - P	30	0,344333	0,0149183	0,314848	0,373819
C - M	30	0,405667	0,0149183	0,376181	0,435152
D - E	30	0,229	0,0149183	0,199514	0,258486
D - P	30	0,355333	0,0149183	0,325848	0,384819
-----					

Multiple Range Tests for Tensao\_MPa by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-----			
D - E	30	0,229	X
B - P	30	0,344333	X
D - P	30	0,355333	XX
C - M	30	0,405667	X
A - P	30	0,527	X
-----			

## ANEXO 3: ANÁLISE ESTATÍSTICA MDF - ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO ESPESSURA

Atenção: Sem efeito da covariável densidade

### Multifactor ANOVA - Absorcao\_2h%

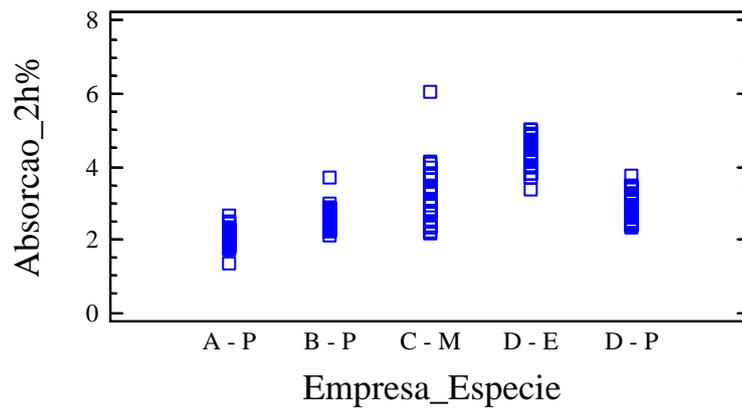
Analysis Summary

Dependent variable: Absorcao\_2h%

Factors: Empresa\_Especie

Number of complete cases: 150

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for Absorcao\_2h% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Empresa_Especie	85,9777	4	21,4944	104,04	0,0000
RESIDUAL	29,9564	145	0,206596		
TOTAL (CORRECTED)	115,934	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Absorcao\_2h% with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	150	3,02173			
Empresa_Especie					
A - P	30	2,05867	0,0829852	1,89465	2,22268
B - P	30	2,583	0,0829852	2,41898	2,74702
C - M	30	3,20533	0,0829852	3,04132	3,36935
D - E	30	4,32733	0,0829852	4,16332	4,49135
D - P	30	2,93433	0,0829852	2,77032	3,09835

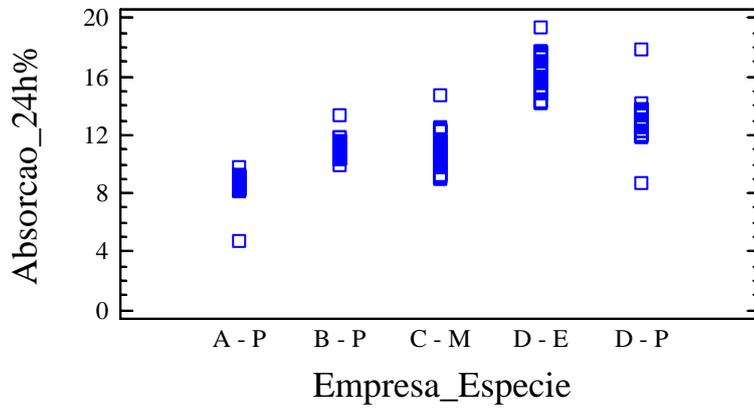
Multiple Range Tests for Absorcao\_2h% by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A - P	30	2,05867	X
B - P	30	2,583	X
D - P	30	2,93433	X
C - M	30	3,20533	X
D - E	30	4,32733	X

Analysis Summary  
**Dependent variable: Absorcao\_24h%**  
 Factors: Empresa\_Especie  
 Number of complete cases: 150

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for Absorcao\_24h% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
<b>MAIN EFFECTS</b>					
A: Empresa_Especie	1028,63	4	257,157	237,43	0,0000
RESIDUAL	157,047	145	1,08308		
TOTAL (CORRECTED)	1185,68	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Absorcao\_24h% with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	150	11,9537			
<b>Empresa_Especie</b>					
A - P	30	8,539	0,190007	8,16346	8,91454
B - P	30	11,0823	0,190007	10,7068	11,4579
C - M	30	10,8213	0,190007	10,4458	11,1969
D - E	30	16,3813	0,190007	16,0058	16,7569
D - P	30	12,9447	0,190007	12,5691	13,3202

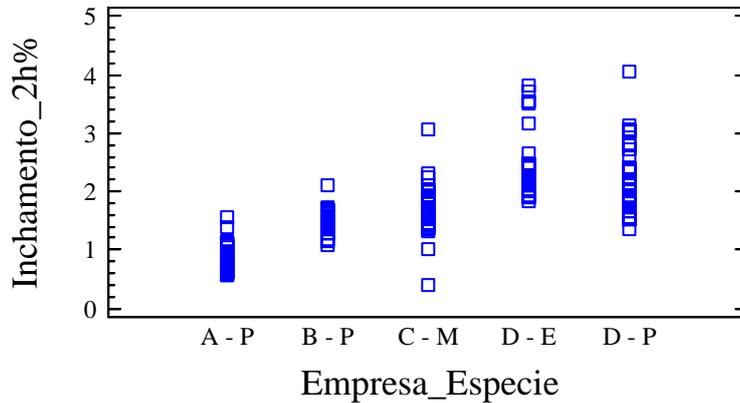
Multiple Range Tests for Absorcao\_24h% by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A - P	30	8,539	X
C - M	30	10,8213	X
B - P	30	11,0823	X
D - P	30	12,9447	X
D - E	30	16,3813	X

**Multifactor ANOVA - Inchamento\_2h%**

Analysis Summary  
 Dependent variable: Inchamento\_2h%  
 Factors: Empresa\_Especie  
 Number of complete cases: 150

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for Inchamento\_2h% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
-----					
MAIN EFFECTS					
A: Empresa_Especie	47,3146	4	11,8287	58,87	0,0000
RESIDUAL	29,1368	145	0,200944		
-----					
TOTAL (CORRECTED)	76,4515	149			
-----					

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Inchamento\_2h%  
 with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
-----					
GRAND MEAN	150	1,73853			
Empresa_Especie					
A - P	30	0,841667	0,0818421	0,679909	1,00342
B - P	30	1,47267	0,0818421	1,31091	1,63442
C - M	30	1,72867	0,0818421	1,56691	1,89042
D - E	30	2,41	0,0818421	2,24824	2,57176
D - P	30	2,23967	0,0818421	2,07791	2,40142
-----					

Multiple Range Tests for Inchamento\_2h% by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-----			
A - P	30	0,841667	X
B - P	30	1,47267	X
C - M	30	1,72867	X
D - P	30	2,23967	X
D - E	30	2,41	X
-----			

### Multifactor ANOVA - Inchamento\_24h%

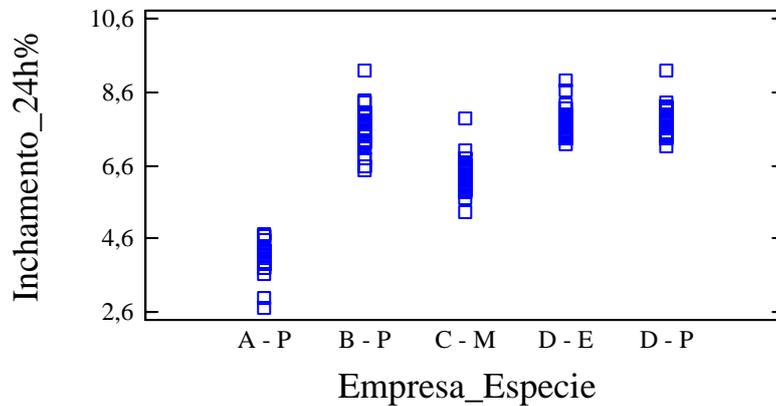
Analysis Summary

Dependent variable: Inchamento\_24h%

Factors: Empresa\_Especie

Number of complete cases: 150

#### Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for Inchamento\_24h% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Empresa_Especie	308,333	4	77,0833	366,83	0,0000
RESIDUAL	30,4694	145	0,210134		
TOTAL (CORRECTED)	338,803	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Inchamento\_24h%  
with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	150	6,6828			
Empresa_Especie					
A - P	30	4,01533	0,0836927	3,84992	4,18075
B - P	30	7,53467	0,0836927	7,36925	7,70008
C - M	30	6,34433	0,0836927	6,17892	6,50975
D - E	30	7,727	0,0836927	7,56158	7,89242
D - P	30	7,79267	0,0836927	7,62725	7,95808

Multiple Range Tests for Inchamento\_24h% by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A - P	30	4,01533	X
C - M	30	6,34433	X
B - P	30	7,53467	X
D - E	30	7,727	X
D - P	30	7,79267	X

## ANEXO 4: ANÁLISE ESTATÍSTICA MDF – ABSORÇÃO E INCHAMENTO CONSIDERANDO EFEITO DENSIDADE

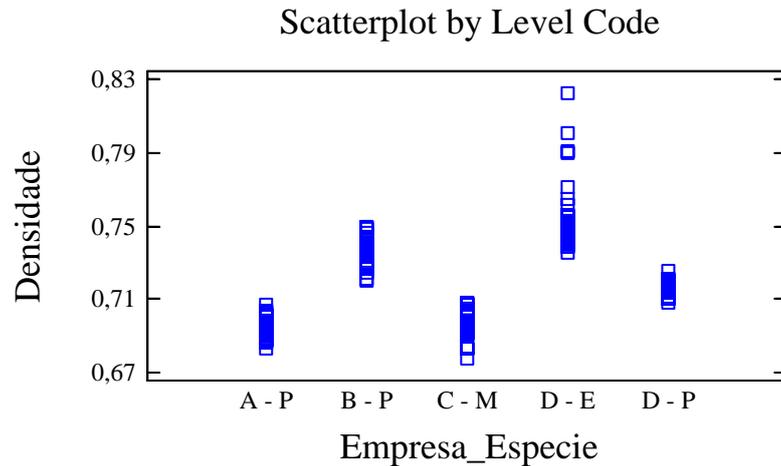
### Multifactor ANOVA - Densidade

Analysis Summary

Dependent variable: Densidade

Factors: Empresa\_Especie

Number of complete cases: 150



Analysis of Variance for Densidade - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A: Empresa_Especie	0,0854759	4	0,021369	184,69	0,0000
RESIDUAL	0,0167772	145	0,000115705		
TOTAL (CORRECTED)	0,102253	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Densidade with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	150	0,719553			
Empresa_Especie					
A - P	30	0,693633	0,00196388	0,689752	0,697515
B - P	30	0,7361	0,00196388	0,732218	0,739982
C - M	30	0,696067	0,00196388	0,692185	0,699948
D - E	30	0,756133	0,00196388	0,752252	0,760015
D - P	30	0,715833	0,00196388	0,711952	0,719715

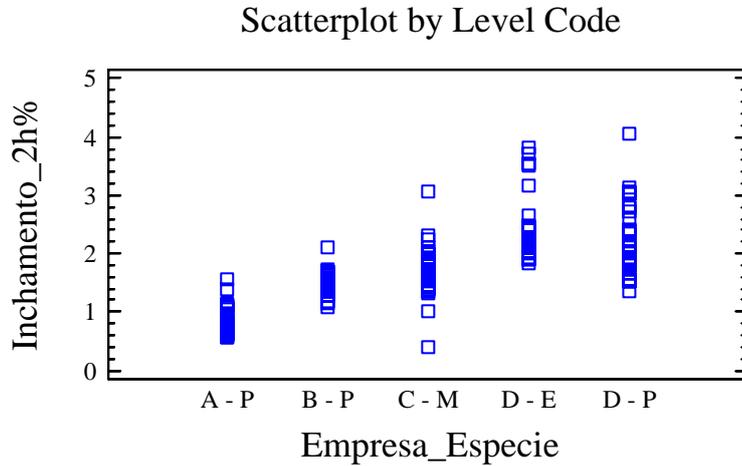
Multiple Range Tests for Densidade by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A - P	30	0,693633	X
C - M	30	0,696067	X
D - P	30	0,715833	X
B - P	30	0,7361	X
D - E	30	0,756133	X

**Multifactor ANOVA - Inchamento\_2h%**

Analysis Summary  
 Dependent variable: Inchamento\_2h%  
 Factors: Empresa\_Especie  
 Covariates: Densidade  
 Number of complete cases: 150



Analysis of Variance for Inchamento\_2h% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
Densidade	0,0566488	1	0,0566488	0,28	0,5972
MAIN EFFECTS					
A:Empresa_Especie	32,7557	4	8,18893	40,55	0,0000
RESIDUAL	29,0802	144	0,201946		
TOTAL (CORRECTED)	76,4515	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Inchamento\_2h% with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Stnd. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	150	1,73853			
Empresa_Especie					
A - P	30	0,794038	0,121731	0,553426	1,03465
B - P	30	1,50307	0,100136	1,30515	1,701
C - M	30	1,68551	0,115635	1,45695	1,91407
D - E	30	2,47722	0,151123	2,17851	2,77592
D - P	30	2,23283	0,0830548	2,06867	2,397

Multiple Range Tests for Inchamento\_2h% by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A - P	30	0,794038	X
B - P	30	1,50307	X
C - M	30	1,68551	X
D - P	30	2,23283	X
D - E	30	2,47722	X

### Multifactor ANOVA - Inchamento\_24h%

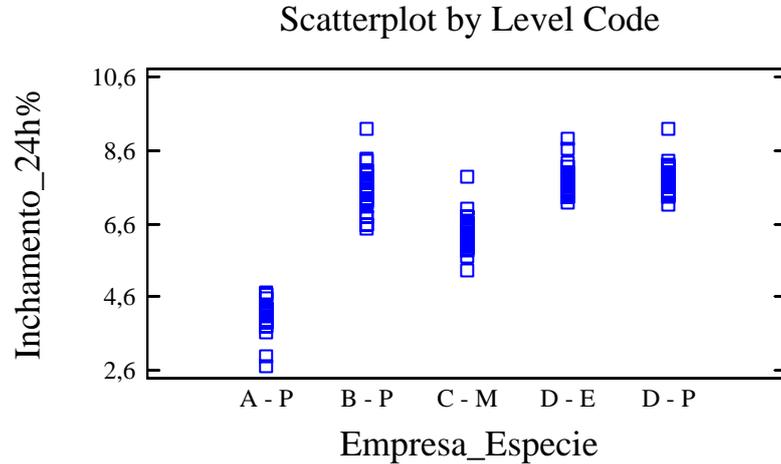
Analysis Summary

Dependent variable: Inchamento\_24h%

Factors: Empresa\_Especie

Covariates: Densidade

Number of complete cases: 150



Analysis of Variance for Inchamento\_24h% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
Densidade	0,377368	1	0,377368	1,81	0,1811
MAIN EFFECTS					
A:Empresa_Especie	176,411	4	44,1028	211,05	0,0000
RESIDUAL	30,0921	144	0,208973		
TOTAL (CORRECTED)	338,803	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error

Table of Least Squares Means for Inchamento\_24h%  
with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	150	6,6828			
Empresa_Especie					
A - P	30	3,8924	0,123831	3,64764	4,13717
B - P	30	7,61314	0,101863	7,4118	7,81448
C - M	30	6,23294	0,117629	6,00044	6,46545
D - E	30	7,90049	0,15373	7,59663	8,20435
D - P	30	7,77502	0,0844874	7,60803	7,94202

Multiple Range Tests for Inchamento\_24h% by Empresa\_Especie

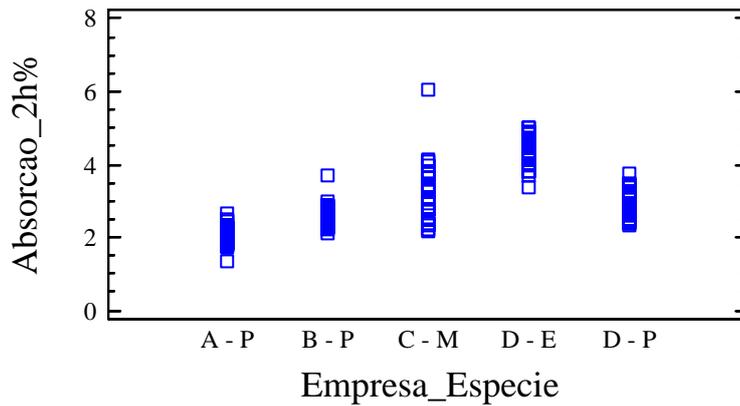
Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A - P	30	3,8924	X
C - M	30	6,23294	X
B - P	30	7,61314	X
D - P	30	7,77502	X
D - E	30	7,90049	X

**Multifactor ANOVA - Absorcao\_2h%**

Analysis Summary  
 Dependent variable: Absorcao\_2h%  
 Factors: Empresa\_Especie  
 Covariates: Densidade  
 Number of complete cases: 150

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for Absorcao\_2h% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
Densidade	3,64297	1	3,64297	19,94	0,0000
MAIN EFFECTS					
A:Empresa_Especie	64,6777	4	16,1694	88,49	0,0000
RESIDUAL	26,3135	144	0,182732		
TOTAL (CORRECTED)	115,934	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Absorcao\_2h% with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	150	3,02173			
Empresa_Especie					
A - P	30	1,67672	0,115796	1,44784	1,9056
B - P	30	2,82683	0,0952531	2,63855	3,0151
C - M	30	2,85924	0,109996	2,64183	3,07666
D - E	30	4,86636	0,143754	4,58222	5,1505
D - P	30	2,87952	0,0790051	2,72336	3,03568

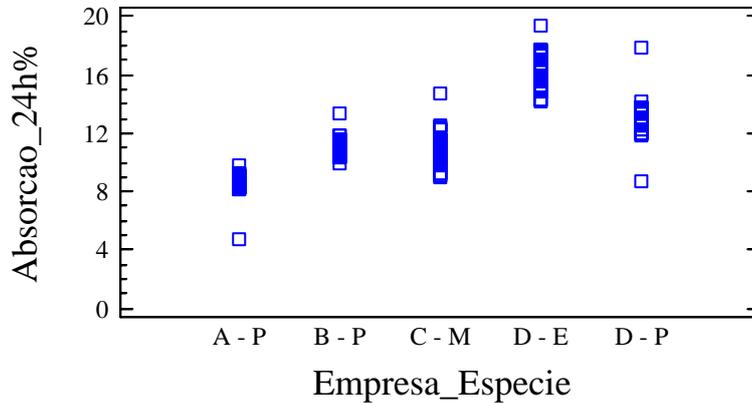
Multiple Range Tests for Absorcao\_2h% by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
A - P	30	1,67672	X
B - P	30	2,82683	X
C - M	30	2,85924	X
D - P	30	2,87952	X
D - E	30	4,86636	X

**Multifactor ANOVA - Absorcao\_24h%**

Analysis Summary  
 Dependent variable: Absorcao\_24h%  
 Factors: Empresa\_Especie  
 Covariates: Densidade  
 Number of complete cases: 150

Scatterplot by Level Code



Analysis of Variance for Absorcao\_24h% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
-----					
COVARIATES					
Densidade	18,0766	1	18,0766	18,73	0,0000
-----					
MAIN EFFECTS					
A:Empresa_Especie	537,166	4	134,291	139,15	0,0000
-----					
RESIDUAL	138,97	144	0,965073		
-----					
TOTAL (CORRECTED)	1185,68	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Absorcao\_24h% with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
-----					
GRAND MEAN	150	11,9537			
Empresa_Especie					
A - P	30	7,68819	0,266112	7,1622	8,21418
B - P	30	11,6255	0,218903	11,1928	12,0581
C - M	30	10,0504	0,252785	9,55075	10,55
D - E	30	17,5821	0,330364	16,9291	18,235
D - P	30	12,8226	0,181563	12,4637	13,1814

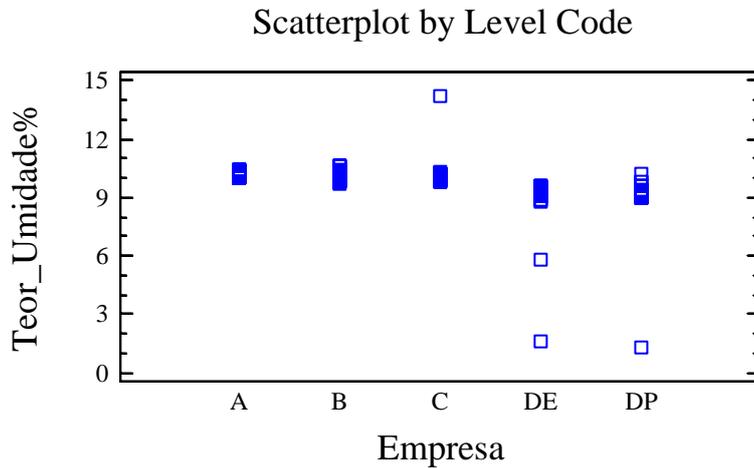
Multiple Range Tests for Absorcao\_24h% by Empresa\_Especie

Method: 95,0 percent Tukey HSD			
Empresa_Especie	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
-----			
A - P	30	7,68819	X
C - M	30	10,0504	X
B - P	30	11,6255	X
D - P	30	12,8226	X
D - E	30	17,5821	X

## ANEXO 5: ANÁLISE ESTATÍSTICA - TEOR DE UMIDADE

### Multifactor ANOVA - Teor\_Umidade%

Analysis Summary  
 Dependent variable: Teor\_Umidade%  
 Factors: Empresa  
 Covariates: Densidade  
 Number of complete cases: 150



Analysis of Variance for Teor\_Umidade% - Type III Sums of Squares

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
COVARIATES					
Densidade	0,131694	1	0,131694	0,13	0,7241
MAIN EFFECTS					
A:Empresa	37,0796	4	9,26991	8,80	0,0000
RESIDUAL	151,632	144	1,053		
TOTAL (CORRECTED)	205,717	149			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Table of Least Squares Means for Teor\_Umidade%  
 with 95,0 Percent Confidence Intervals

Level	Count	Mean	Std. Error	Lower Limit	Upper Limit
GRAND MEAN	150	9,7006			
Empresa					
A	30	10,1439	0,277971	9,59451	10,6934
B	30	10,2111	0,228658	9,75913	10,6631
C	30	10,1226	0,26405	9,60065	10,6445
DE	30	9,04135	0,345086	8,35926	9,72344
DP	30	8,98404	0,189654	8,60918	9,35891

Multiple Range Tests for Teor\_Umidade% by Empresa

Method: 95,0 percent Tukey HSD

Empresa	Count	LS Mean	Homogeneous Groups
DP	30	8,98404	X
DE	30	9,04135	X
C	30	10,1226	X
A	30	10,1439	X
B	30	10,2111	X