

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CÂMPUS DE BOTUCATU**

**PRODUÇÃO DE PAINÉIS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA  
USO COMO ELEMENTO ARQUITETÔNICO**

**PAULA VALÉRIA COIADO CHAMMA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Câmpus de  
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Energia na Agricultura).

**BOTUCATU - SP**

**Dezembro - 2004**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU**

**PRODUÇÃO DE PAINÉIS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA  
USO COMO ELEMENTO ARQUITETÔNICO**

**PAULA VALÉRIA COIADO CHAMMA**

Orientador: Prof. Dr. Alcides Lopes Leão

Co-orientador: Prof. Dr. José Cláudio Caraschi

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Câmpus de  
Botucatu, para a obtenção do título de Doutor  
em Agronomia (Energia na Agricultura).

**BOTUCATU - SP**

**Dezembro - 2004**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “PRODUÇÃO DE PAINÉIS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA  
USO COMO ELEMENTO ARQUITETÔNICO”**

AUTOR: PAULA VALÉRIA COIADO CHAMMA

ORIENTADOR: PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. JOSÉ CLÁUDIO CARASCHI

Aprovado pela Comissão Examinadora

---

PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO

---

PROF. DR. ADRIANO WAGNER BALLARIN

---

PROF. DR. HERNANDO ALFONSO LARA PALMA

---

PROF. DR. WESLEY JORGE FREIRE

---

PROF. DR. FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR

Data da Realização: 15 de dezembro de 2004

A Deus  
pela vida, saúde e pela natureza

Ao meu esposo  
Ricardo  
pelo apoio, amor, paciência e compreensão

Aos meus pais  
por tudo que hoje sou e por proporcionar-me sempre a oportunidade de alcançar novos  
degraus na minha educação

À minha irmã, sobrinhos, tios, avós e demais familiares  
pelo companheirismo e pela compreensão pela minha ausência para dedicar-me a este  
trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP.

Ao Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura) da Faculdade de Ciências Agronômicas.

Ao Professor Dr. Alcides Lopes Leão, pela orientação, indicando-me sempre o melhor caminho a seguir na busca do conhecimento.

Ao Professor Dr. José Cláudio Caraschi, pela orientação e dedicação a esse trabalho.

Ao Professor Adriano Wagner Ballarin, pela orientação nos ensaios e por disponibilizar o Laboratório de Ensaio de Materiais.

Ao Professor Dr. Hernando Alfonso Lara Palma, pela amizade e pelas sugestões valiosas que em muito enriqueceram este trabalho.

À Professora Maria Márcia Pereira Sartori, pelas sugestões e pela imprescindível ajuda na análise dos dados estatísticos.

Ao Professor Adilson Renofio, pelo incentivo e por disponibilizar o Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Engenharia da UNESP/Bauru.

Ao Professor Dr. Antenor Pasqual que, mesmo sem saber, ao proferir uma palestra, na década de 80, sobre meio ambiente, despertou em mim o desejo pelos estudos ambientais. Foi uma honra ser aluna da sua última turma da pós-graduação.

A todos os professores que passaram por minha vida, em especial aos professores da FCA, pela formação e pela amizade.

A arquiteta Lara Freitas, pelo incentivo e colaboração.

Aos funcionários e docentes do Departamento de Recursos Naturais.

Aos colegas do curso de pós-graduação, Adriana, Fernando, Kátia, Marcelo, Telma e Vera.

Aos estagiários, Amanda, Gilson, Janaína e Karyna.

Aos funcionários, Eduardo, Ailton, Ailton, Carlos Roberto, Rosana, Aparecido e Valdomiro, pela ajuda laboratorial.

Aos funcionários da marcenaria da Faculdade de Ciências Agronômicas, pela disponibilidade em confeccionar os corpos-de-prova.

À secretária Ana Maria, pela amizade e pelo constante auxílio para viabilizar o desenvolvimento do trabalho.

Às servidoras Sílvia, Izaura, Selma e Camila, pelo apoio recebido.

À Duratex, especialmente ao Engenheiro Marcio Xavier R. da Costa, por viabilizar e acompanhar a realização de ensaios.

À Fundação de Amparo à Pesquisa, pelo auxílio-pesquisa concedido.

A todos aqueles que colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	XI
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	9
4.1 Resíduos Sólidos.....	9
4.2 Reciclagem .....	12
4.2.1 Embalagens plásticas.....	17
4.2.2 Embalagens multilaminadas.....	19
4.3 Resíduos agroindustriais.....	22
4.3.1 Casca de arroz.....	22
4.3.2 Casca de amendoim .....	23
4.4 Elementos arquitetônicos.....	24
4.4.1 Plástico.....	25
4.4.2 Compósitos.....	27
4.4.3 Madeira.....	28
4.5 Painéis de madeira.....	31
4.5.1 Classificação de painéis de madeira.....	32
4.5.2 Matéria-prima dos painéis de madeira.....	34
4.5.3 Painéis aglomerados.....	35
4.5.3.1 Ciclo de prensagem dos painéis aglomerados.....	36
4.5.3.1.1 Geometria das partículas.....	36
4.5.3.1.2 Teor de umidade das partículas.....	37
4.5.3.1.3 Tempo de fechamento da prensa.....	37
4.5.3.1.4 Tempo de prensagem.....	38
4.5.3.1.5 Pressão.....	38

4.5.3.1.6	Temperatura da prensa.....	39
4.5.3.1.7	Gradiente vertical de densidade.....	40
4.5.3.1.8	Transferência de calor e umidade.....	40
4.5.4	Adesivos.....	41
4.6	Ecodesign.....	43
4.6.1	Ecodesign na arquitetura.....	45
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
5.1	Matérias-primas.....	51
5.1.1	Resíduos Agroindustriais.....	51
5.1.2	Resíduo Industrial.....	52
5.1.3	Resíduo Domiciliar.....	52
5.2	Determinação da densidade aparente e do teor de umidade das partículas.....	53
5.3	Confecção do painel.....	53
5.3.1	Delineamento experimental .....	53
5.3.2	Procedimento experimental .....	55
5.4	Ensaaios físicos e mecânicos.....	57
5.4.1	Ensaaios físicos.....	59
5.4.2	Ensaaios mecânicos.....	62
5.5	Ensaaios complementares.....	64
5.5.1	Densidade.....	65
5.5.2	Módulo de elasticidade (MOE).....	66
5.5.3	Distribuição em tamanho das partículas.....	67
5.5.4	Perfil de densidade.....	68
5.5.5	Exposição ao intemperismo artificial.....	69
5.6	Análise estatística.....	70
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
6.1	Ensaaios gerais (18 tratamentos).....	73
6.1.1	Densidade aparente e teor de umidade das partículas.....	73
6.1.2	Painéis – propriedades físicas.....	73
6.1.3	Painéis – propriedades mecânicas.....	76



6.1.4	Painéis – enquadramento dos tratamentos (de acordo com a norma ANSI).....	78
6.1.5	Painéis – interferência das variáveis por análise comparativa entre os tratamentos .....	79
6.1.6	Análise dos resultados dos ensaios físicos e mecânicos.....	95
6.2	Ensaaios nos melhores tratamentos.....	96
6.2.1	Densidade aparente e teor de umidade das partículas.....	96
6.2.2	Painéis – densidade.....	97
6.2.3	Painéis – módulo de elasticidade.....	98
6.2.4	Painéis – distribuição em tamanho das partículas de casca de arroz....	100
6.2.5	Painéis – perfil de densidade.....	101
6.2.6	Painéis – exposição ao intemperismo artificial.....	107
7	CONCLUSÃO.....	108
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	110
9	APÊNDICES.....	117

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1 Estrutura de uma embalagem multilaminada.....	20
2 Constituição do grão de arroz.....	23
3 Casca de amendoim.....	24
4 Classificação dos compensados.....	32
5 Classificação das chapas de partículas.....	33
6 Classificação das chapas de fibras.....	34
7 Classificação dos adesivos.....	42
8 Fluxograma dos elementos arquitetônicos em edifícios ecológicos.....	45
9 Classificação dos materiais de construção em relação as matérias-primas.....	48
10 Resíduos agroindustriais.....	51
11 Aparas de embalagens plásticas.....	52
12 Embalagens multilaminadas pós-consumo.....	52
13 Vista parcial da prensa.....	55
14 Caixa formadora do painel.....	56
15 Colchão pré-moldado.....	56
16 Colchão finalizado.....	56
17 Painel após esfriamento inicial.....	57
18 Painel pronto para ser mapeado.....	57
19 Mapeamento do painel.....	58
20 Corpos-de-prova dos ensaios físicos.....	59
21 Corpos-de-prova dos ensaios mecânicos .....	62
22 Ensaio de flexão estática.....	63
23 Ensaio de tração perpendicular à superfície.....	64
24 Mapeamento para ensaio de densidade .....	66
25 Corpos-de-prova para ensaio de flexão estática .....	67
26 Posição dos corpos-de-prova nos painéis para ensaio de perfil de densidade.....	69
27 Ensaio de perfil de densidade.....	69

28	Corpos-de-prova do ensaio de exposição ao intemperismo artificial.....	70
29	Interferência do reforço no teor de umidade e na densidade.....	81
30	Interferência da matriz no teor de umidade e na densidade.....	82
31	Interferência da relação matriz/reforço no teor de umidade e na densidade.....	83
32	Interferência do reforço no inchamento em espessura em 2 e 24 horas.....	84
33	Interferência do reforço na absorção de água em 2 e 24 horas.....	85
34	Interferência da matriz no inchamento em espessura em 2 e 24 horas.....	86
35	Interferência da matriz na absorção de água em 2 e 24 horas.....	87
36	Interferência da relação matriz/reforço no inchamento em espessura em 2 e 24 horas.....	88
38	Interferência da relação matriz/reforço na absorção de água em 2 e 24 horas.....	89
38	Interferência do reforço no módulo de elasticidade e no módulo de ruptura.....	90
39	Interferência da matriz no módulo de elasticidade e no módulo de ruptura.....	91
40	Interferência da relação matriz/reforço no módulo de elasticidade e no módulo de ruptura.....	92
41	Interferência do reforço na tração perpendicular à superfície.....	93
42	Interferência da matriz na tração perpendicular à superfície.....	94
43	Interferência da relação matriz/reforço na tração perpendicular à superfície.....	95
44	Distribuição em tamanho da casca de arroz.....	101
45	Perfil de densidade de uma chapa de fibras MDF produzida pela indústria Duratex.....	102
46	Perfis de densidade de chapas Duratex.....	102
47	Perfil de densidade da amostra D1, do tratamento 5.....	104
48	Perfil de densidade da amostra D3, do tratamento 5.....	104
49	Perfil de densidade da amostra E4, do tratamento 5.....	105
50	Perfil de densidade da amostra D1, do tratamento 6.....	105
51	Perfil de densidade da amostra D3, do tratamento 6.....	106
52	Perfil de densidade da amostra E4, do tratamento 6.....	106
53	Corpos-de-prova na condição original e após exposição ao intemperismo artificial.....	107

## LISTA DE TABELAS

Tabelas	Página
1 Índice de reciclagem de alguns materiais de 1995 a 2000 (%).....	13
2 Composição porcentual do lixo domiciliar em alguns países (%).....	14
3 Composição porcentual do lixo domiciliar em alguns estados brasileiros (%).....	14
4 Municípios brasileiros que fazem a coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos	15
5 Composição porcentual média da coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos nos municípios brasileiros, pela Pesquisa Ciclosoft-2004 (%).....	16
6 Segmentação do mercado de embalagens no Brasil (mil toneladas).....	17
7 Elementos arquitetônicos ecoeficientes nas diferentes etapas construtivas.....	49
8 Delineamento experimental.....	54
9 Composição dos 18 tratamentos.....	54
10 Resultados do estudo das partículas.....	73
11 Valores médios de teor de umidade e densidade.....	74
12 Valores médios de inchamento em espessura e absorção de água.....	75
13 Valores médios de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície.....	77
14 Classificação, valores mínimos e uso recomendado pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993).....	78
15 Resultados das propriedades físicas e mecânicas.....	79
16 Interferência das variáveis nos melhores resultados, por contagem de comparações.....	80
17 Resultados do estudo de partículas .....	97
18 Valores médios de densidade.....	98
19 Valores médios de módulo de elasticidade – tratamento 5.....	99
20 Valores médios de módulo de elasticidade – tratamento 6.....	99
21 Resultados médios da distribuição em tamanho das partículas de duas amostras de casca de arroz.....	100
22 Valores obtidos no ensaio de perfil de densidade.....	103

## 1. RESUMO

A problemática dos resíduos sólidos urbanos, industriais ou agroindustriais, representa um grande desafio para a sociedade, pois esses resíduos necessitam obrigatoriamente de tratamento ou reaproveitamento.

A conscientização acerca da necessidade de reduzir impactos ambientais tem levado ao aumento de pesquisas para a destinação adequada de resíduos. A comunidade em geral está atenta às questões ambientais e, principalmente, o setor produtivo empresarial que se preocupa com o meio ambiente, sobretudo pela necessidade de obter certificação de qualidade dos seus produtos.

O presente trabalho pretendeu cooperar na minimização da problemática do volume atual e crescente de resíduos, analisando materiais alternativos na produção de painéis para uso na arquitetura. Utilizaram-se resíduos de diferentes origens para produzir painéis.

Os resíduos sólidos foram divididos, em função de sua origem, em domiciliar, industrial e agroindustrial. O resíduo sólido domiciliar utilizado foi embalagem multilaminada pós-consumo. O resíduo industrial utilizado constituiu-se de aparas de embalagens plásticas para indústrias de alimentos. Os resíduos agroindustriais empregados foram a casca de amendoim e a casca de arroz. Foram feitos diferentes tipos de agrupamento entre esses resíduos, com diferentes proporções que resultaram em dezoito tratamentos diferentes de painéis, todos eles estudados com três repetições.

Para a realização dos ensaios físicos e mecânicos nos painéis, atendeu-se à norma para métodos e ensaios da ASTM D1037 (ASTM, 1996) e EN 317 (EN, 1993), referente à chapa de

partículas. As propriedades físicas e mecânicas avaliadas foram: módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), tração perpendicular à superfície, inchamento e absorção.

Os resultados obtidos foram analisados segundo a norma ANSI A208-1(ANSI, 1993), que especifica as propriedades necessárias para as chapas de partículas e, pela ANOVA, sendo complementado pelos testes Tukey.

Os painéis que obtiveram os melhores resultados foram aqueles compostos por embalagens plásticas e casca de arroz, nas proporções 50/50 e 60/40 (relação matriz/reforço). Os resultados obtidos nesses tratamentos foram condizentes com a norma ANSI A208-1 (ANSI, 1993). Em relação à flexão estática, apenas os valores de MOR atingiram o mínimo estabelecido na referida norma.

Dentre os dezoito tratamentos efetuados, os que apresentaram um melhor desempenho utilizaram a casca de arroz como carga de reforço, as embalagens plásticas como matriz e a relação matriz/reforço de 60/40.

A tecnologia de desenvolvimento de painéis do presente estudo revelou-se viável. O aproveitamento da propriedade aglutinante do termoplástico, presente nos resíduos urbanos e o uso das partículas de resíduos agroindustriais, atuando como material lignocelulósico constituiu-se em um painel com resultados promissores para uso como elemento arquitetônico.

**PANEL PRODUCTION FROM SOLID RESIDUES FOR USING AS ARCHITECTONICAL ELEMENT.** Botucatu, 2004. 138 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: PAULA VALÉRIA COIADO CHAMMA

Adviser: ALCIDES LOPES LEÃO

## **2. SUMMARY**

The problems related to urban, industrial and agroindustrial solid residues have represented a great challenge for the society since they obligatorily require treatment or reuse.

The understanding about the needs of reducing environmental impacts has led to a growing number of researches on proper residue destination. The community, in general, has been attentive to the environmental issues, mainly the productive section which worries about the environmental problems to obtain the quality certification of products.

This work aimed at cooperating to minimize the problem of growing residue volume, analyzing alternative materials in the panel production for architectural utilization.

Solid residues were grouped relating to their origin as home, industrial or agro industrial. Postconsume multilaminated packaging, chippings of plastic packaging for food industry as well as rice and peanut peelings were used as home, industrial and agroindustrial solid residues, respectively. Different grouping types were held among these residues with different proportions which provided 18 different treatments of panels, all of them with 3 replications.

The physical and mechanical trials complied with the ASTM D1037 (ASTM,1996) and EN 317 (EN,1993) standards concerning particleboard. The following physical and mechanical properties were evaluated: modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), perpendicular traction to plan, swelling and absorption.

The ANSI A208-1 (ANSI, 1993) standard, which specifies the necessary properties for particleboard, as well as ANOVA and the Tukey Test were used for data analyses.

Better outcomes for panels were obtained from plastic and rice peeling packaging, using 50/50 and 60/40 ratio (matrix/reinforcement). The results from these treatments were in agreement with the ANSI A208-1 (ANSI,1993) standard. Concerning static flexion, only MOR values reached the minimum value established in the above mentioned standard.

Considering the 18 treatments, the ones which used rice peeling as reinforcement load; plastic packaging as matrix and the 60/40 matrix/reinforcement ratio presented better performance.

This study on panel development has rendered this technology feasible. The utilization of thermoplastic agglutinative property from urban residues as well as agroindustrial residue particles as lignocellulosic material have produced a panel with promising outcomes for using as architectonical element.

---

Key-words: solid residue, panels, architectonical element



### **3. INTRODUÇÃO**

A natureza sempre subsidiou o homem na manutenção da vida, recebendo, em contrapartida, os resíduos gerados. O consumismo e a despreocupação em destinar resíduos adequadamente estabeleceram uma situação de exacerbação dos limites do ecossistema.

A preocupação com uma melhor qualidade de vida, aliada às pressões das legislações, levam a sociedade à busca de novas técnicas de aproveitamento de resíduos, garantindo, assim, a continuidade das atividades produtivas, considerando-se os custos ambientais.

A tecnologia da reciclagem é vantajosa por diferentes aspectos. D’Almeida e Vilhena (2000) apontam, como benefícios da reciclagem dos resíduos, a diminuição da quantidade de lixo a ser aterrada, a preservação dos recursos naturais, a economia de energia, a diminuição dos impactos ambientais, a geração de novos negócios e de empregos diretos e indiretos. No entanto, há resíduos de difícil reciclabilidade, como no caso das embalagens.

A crescente produção de embalagens indica a necessidade de estudos que viabilizem sua reciclagem. Como novos produtos são lançados no mercado, novas embalagens são também criadas, feitas de diferentes materiais para atender as exigências dos produtores.

As embalagens multilaminadas pós-consumo, especificamente, representam impacto ambiental quanto à sua disposição final em aterros, diante da dificuldade de sua decomposição. Segundo Ribeiro (1998), o papel presente na embalagem logo se decompõe, mas o plástico e o alumínio permanecem no solo por longo período. Assim sendo, a

degradação dessa embalagem é dificultada se não houver a separação dos materiais que as compõem.

As embalagens plásticas, por sua vez, são mais facilmente recicladas se separadas por tipos de plásticos. Segundo Remédio (1999), a dificuldade de recuperação de materiais plásticos pode ser explicada não pela falta de capacidade de se aproveitar materiais, mas sim pela ocorrência de inúmeras variedades, de aparências semelhantes, porém incompatíveis química ou fisicamente, dificultando a existência de uma reciclagem única.

Na agroindústria brasileira, o aproveitamento de resíduos é realizado com sucesso em diversas culturas, como por exemplo o bagaço de cana-de-açúcar. Sartori (2001) cita diferentes utilizações para o bagaço de cana-de-açúcar, inclusive na confecção de painéis aglomerados. No Brasil, além da cana-de-açúcar, outras culturas também propiciam um bom aproveitamento de seus resíduos.

O arroz é um dos principais alimentos da população brasileira e gera resíduos quando beneficiado. Do processo de beneficiamento do arroz, resulta como subproduto a casca de arroz que, de acordo com Souza e Yamamoto (1999), corresponde, em peso, a 20% da produção de arroz. Segundo Della et al. (2001), a casca de arroz pode ser usada na fabricação de blocos e painéis empregados na construção civil. A queima da casca de arroz fornece o calor necessário para a parbolização dos grãos, mas resultando ainda as cinzas desse processo. Essas cinzas, devido ao seu elevado teor de óxido de silício, são utilizadas na produção de vidros, isolantes térmicos, agregados em argamassas e concretos, tijolos prensados, cimento Portland e refratários.

O amendoim também gera resíduo quando beneficiado. Sua casca, ao ser separada da semente, torna-se um resíduo. O empenho no uso desses resíduos não é recente. Pablo et al. (1975) desenvolveram estudos de painéis particulados utilizando a casca de amendoim misturada com partículas de madeira.

Apesar das potencialidades de aproveitamento de resíduos agroindustriais ou urbanos, a atual sociedade convive com as limitações dos recursos naturais, consequência de uma exploração inadequada. No Brasil, a madeira foi por muito tempo a matéria-prima predominante nas construções e nos mobiliários, devido à abundância de florestas e pela facilidade em explorá-las.

No entanto, a dificuldade em obter madeiras nativas, devido à sua escassez e alto preço, levou o setor moveleiro e da construção civil a optar pelo reflorestamento e pelo uso de painéis de madeira.

Embora essa tendência favoreça a preservação de florestas nativas e o estímulo ao reflorestamento, esses não são exclusivamente os motivos para buscar materiais alternativos. As exigências ambientais do mercado externo levam as indústrias nacionais a lançarem produtos com certificação de procedência de madeiras de espécies reflorestadas (CERTIFICAÇÃO..., 1999).

Existem estudos de produção de painéis feitos de materiais baseados não somente em partículas ou lâminas de madeira, mas também utilizando resíduos agroindustriais de culturas de amendoim (PABLO et al., 1975), juta (PANDEY et al., 1990), cana-de-açúcar (VALDES et al., 1991), milho (SAMPATHRAJAN et al., 1991), algodão (GURJAR, 1993), arroz (CHEN, apud YOUNGQUIST et al., 1994), sisal (PAIVA, 2001).

Autores como Paiva et al. (1999) indicam as fibras naturais como alternativas econômicas e ecológicas na utilização para reforços em plásticos. O interesse em aplicar as fibras naturais em sistemas compósitos não é recente. Mitchell e Varnell, apud YOUNGQUIST et al. (1994), estudaram a possibilidade de produção de compósito para uso na construção civil misturando casca de arroz com poliéster. O resultado foi um material leve, durável e isolante térmico.

Em países com vocação agrícola, como o Brasil, o uso de fibras naturais deve ser incentivado. Além das fibras naturais, as embalagens multilaminadas pós-consumo podem ser utilizadas para a produção de painéis, para o uso na construção civil e na indústria moveleira.

Estudos de Rocha et al. (1999) propõem a reciclagem de embalagens através da trituração das mesmas para posterior incorporação de polipropileno, promovendo bons resultados em termos de propriedades mecânicas.

Teixeira et al. (1997) descrevem:

O uso de produtos à base de materiais lignocelulósicos como compensados, chapas duras de fibras, chapas de média densidade e de aglomerado, tem crescido ao longo do tempo, e a tendência é ter sua demanda aumentada devido à escassez da oferta de madeira. Além disso, tem-se intensificado o

estudo sobre o melhor aproveitamento de resíduos florestais e agrícolas e mesmo o chamado resíduo urbano, como plásticos, papel de jornal e de revista, papelão e outros, para a produção de painéis a serem usados como móveis, revestimento de automóveis e forros.

A produção de painéis alternativos, com aplicação de resíduos de diferentes origens pode contribuir para o atendimento da demanda de painéis. Pode ainda promover a adequada disposição final de resíduos e gerar materiais que preservem os recursos naturais.

O objetivo do presente estudo foi a produção de painéis utilizando, como matéria-prima, a casca de amendoim, a casca de arroz, as embalagens multilaminadas pós-consumo e as aparas de embalagens plásticas de indústrias de alimentos. Pretendeu-se obter painéis com propriedades físicas e mecânicas apropriadas ao uso como elementos arquitetônicos (forros, divisórias, enchimento de portas, mobiliários) e também evidenciar que os resíduos urbanos, industriais ou agroindustriais podem e devem ser reaproveitados.

## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Resíduos Sólidos**

A ABNT-NBR 10.004 (ABNT, 1987) define Resíduos Sólidos da seguinte forma:

Resíduos sólidos são os resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Os resíduos sólidos que apresentam riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, devido às suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, são considerados perigosos pela ABNT. Partindo-se desse pressuposto, os resíduos são classificados em razão de sua natureza (seco ou molhado) e de sua composição química (matéria orgânica ou inorgânica).

A classificação adotada no Brasil é regulamentada pela NBR 10004 – Classificação dos Resíduos Sólidos. De acordo com essa norma, o lixo é classificado em:

- classe I: perigosos;
- classe II: não-inertes;
- classe III: inertes.

Os resíduos da classe I são aqueles que apresentam periculosidade ou têm características comprovadas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogeneidade. Na referida norma, há parâmetros para se considerar um resíduo inflamável, corrosivo, reativo, tóxico ou patogênico.

Os resíduos classe II são aqueles que não apresentam periculosidade e podem apresentar as seguintes propriedades: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Os resíduos classe III são aqueles, que uma vez em contato estático ou dinâmico com água destilada à temperatura ambiente, não têm nenhum dos seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, com exceção aos aspectos: cor, turbidez e sabor.

O conceito de resíduo depende da concepção filosófica individual. De acordo com Leão (1997), resíduo é “algo que fez parte de um processo produtivo ou não, e que eventualmente não está sendo aproveitado, mas que apresenta ainda uma utilização”.

Popularmente, o termo resíduo pode ser definido como lixo, sujeira, resto, algo sem valor, algo do qual se deve manter distância.

Calderoni (1997) define lixo, sob o ponto de vista econômico:

Lixo é todo material que uma dada sociedade ou agrupamento humano desperdiça. Isso pode decorrer de várias razões, como, por exemplo, problemas ligados à disponibilidade de informação ou de meios para realizar o aproveitamento do produto descartado, inclusive da falta do desenvolvimento de um mercado para produtos recicláveis.

Embora muitas pesquisas já tenham sido feitas e estudiosos estejam trabalhando para proporcionar o manejo adequado dos resíduos, seja por reciclagem, compostagem, combustão ou disposição em aterros, muito há por fazer nessa área.

A produção diária de resíduos sólidos domiciliares, no Brasil, é de 125.281 toneladas. Do total dos municípios brasileiros 63,6% utilizam como destinação final os lixões, 32,2% aterros adequados e cerca de 5% não informaram para onde vão seus resíduos (IBGE, 2000).

Dos 5.507 municípios brasileiros, apenas 451 municípios estão fazendo a coleta seletiva. Estima-se que a quantidade de resíduos sólidos domiciliares gerados por dia/habitantes é de 450 a 700 g para os municípios com até 200.000 habitantes. Para os municípios com mais de 200.000 habitantes, a quantidade de resíduos sólidos domiciliares está entre 800 a 1220 g (IBGE, 2000).

Calderoni (1997) relata que o Brasil chega a ter R\$ 4,6 bilhões de prejuízo anual pela falta de uma política oficial de incentivos à reciclagem do lixo domiciliar e industrial.

A disposição final de resíduos vem se agravando pela escassez de espaço físico e pelo aumento da população.

A população mundial e a população brasileira já alcançou, em meados de 2004, respectivamente 6.171.279.147 habitantes e 181.894.029 habitantes (IBGE, 2004).

Com o aumento populacional, principalmente nas áreas urbanas, consome-se mais recurso natural, aumenta-se a produção de bens de consumo, e, por decorrência, aumenta-se a geração de resíduos sólidos urbanos.

A sociedade, embora crescente em números, demonstra evolução em relação a exigências por qualidade de vida. Esse desejo por um ambiente saudável é, no presente, uma necessidade coletiva.

A conscientização da atual sociedade pode mudar o rumo da história em relação à degradação ambiental, bem como à implementação de um adequado gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos estabelecidos nos municípios.

Oliveira e Pasqual (2000) descrevem:

A origem da causa da problemática dos resíduos sólidos está no fato de que todos os níveis da sociedade têm subestimado o significado do próprio gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos. O sucesso de um sistema de

gerenciamento de resíduos depende do auxílio dos governos federal e estadual, da participação e envolvimento da comunidade (educação ambiental) e da iniciativa e cooperação do setor privado. A administração pública pode ter de imediato um impacto em assumir a responsabilidade do fluxo efetivo de resíduos, mas o sistema de gerenciamento deve ser estudado em cada situação e tentar solucionar problemas específicos, onde é baseado nos recursos sócio-econômicos e ambientais de cada município.

## 4.2 Reciclagem

No Brasil, há carência de uma política nacional de gerenciamento de resíduos. A reciclagem é apenas uma das metas a serem estabelecidas por um gerenciamento de resíduos sólidos. Ela é complexa, pois necessita, além de um projeto de incentivo, do apoio da comunidade e das empresas recicladoras.

A sociedade deve ser conscientizada da importância de separar os seus resíduos. As indústrias, por outro lado, precisam valorizar o reciclado, tendo para isso o apoio governamental.

Muitos materiais podem ser reciclados pós-produção industrial ou no descarte pós-consumo.

Seja qual for o momento em que ocorra, a reciclagem transforma materiais que seriam classificados como resíduos, em matérias-primas a serem reaproveitadas em um novo processo produtivo, demonstrando vantagem econômica e ambiental.

Reciclagem é definida por D’Almeida e Vilhena (2000) como:

Resultado de uma série de atividades, pela qual materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de novos produtos” .

Para Calderoni (1997),

O termo ‘reciclagem’, aplicado a lixo ou a resíduos, designa o reprocessamento de materiais de sorte a permitir novamente sua utilização.



Trata-se de dar aos descartes uma nova vida. Nesse sentido, reciclar é “ressuscitar” materiais, permitir que outra vez sejam aproveitados... Para o público em geral, o termo “reciclagem” é muitas vezes entendido como sinônimo de coleta seletiva de materiais recicláveis. Contudo, essa é claramente apenas uma etapa inicial do processo.

As formas de reciclagem podem ser:

- Primária: o produto, após o uso, retorna ao ciclo para ser utilizado de forma diferente de sua função original. Exemplo: uso de garrafas PET como vasos.
- Secundária: o produto retorna ao ciclo após uma operação de beneficiamento, que consiste na limpeza de impurezas. O custo do beneficiamento pode ser elevado, dependendo do tipo de material e existem perdas na massa de material; Exemplo: reciclagem de metais e plásticos;
- Terciária: o produto retorna ao ciclo após passar por operações físicas (térmicas) e por processos químicos e biológicos. Exemplo: processo de compostagem da parte orgânica do lixo para obtenção de compostos (adubo).

Embora a coleta seletiva no Brasil ainda seja incipiente, a reciclagem tem crescido, conforme exemplifica a Tabela 1.

Tabela 1: Índice de reciclagem de alguns materiais de 1995 a 2000 (%)

Materiais	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Aparas de papéis	34,6	37,1	36,6	-	38,0	-
Latas de alumínio	62,8	61,3	64,0	65,2	72,9	78,2
Vidro	35,0	37,0	39,0	40,0	40,0	41,0
PET	15,0	14,7	16,2	17,9	20,4	26,3

Fonte: ÚLTIMOS ..., 2001

A reciclagem é uma das formas mais eficazes de resolver a questão dos resíduos sólidos urbanos, pois incorpora responsabilidade social aos envolvidos na separação dos materiais e às empresas ligadas à reciclagem, agregando valor aos resíduos.

D'Almeida e Vilhena (2000) apresentaram dados da composição percentual média do lixo domiciliar em alguns países e em alguns estados brasileiros.

Com base nesses dados foram elaborados as Tabelas 2 e 3, com a composição percentual do lixo domiciliar em alguns países e estados brasileiros, respectivamente.

**Tabela 2: Composição percentual do lixo domiciliar em alguns países (%)**

Países	Vidro	Papel/Papelão	Plástico	Metal	Mat.Orgânica	Outros
Brasil	1,6	24,5	2,9	2,3	52,5	16,2
EUA	5,0	44,0	10,0	7,0	0,0	34,0
Europa	9,8	36,0	7,2	9,2	28,1	9,7
Índia	0,2	2,0	1,0	0,1	78,0	18,7
Japão	1,0	40,0	7,0	2,5	0,0	49,5
Suécia	7,0	30,0	60,0	5,0	33,0	19,0
México	8,2	20,0	3,8	3,2	54,4	10,4
Peru	1,3	10,0	3,2	2,1	51,4	32,0

Fonte: Dados apresentados por D' Almeida e Vilhena (2000)

**Tabela 3: Composição percentual do lixo domiciliar em alguns estados brasileiros (%)**

Estados	Vidro	Papel/Papelão	Plástico	Metal	Outros
São Paulo	1,5	18,8	22,9	3,0	53,8
Rio de Janeiro	3,7	22,2	16,8	2,8	54,6
Curitiba	1,3	8,6	12,4	3,2	74,6
Fortaleza	3,3	22,6	8,2	7,3	58,6
Salvador	2,9	16,2	17,1	3,7	60,2
Porto Alegre	9,2	22,1	9,0	4,7	55,0
Recife	0,7	94,1	3,5	1,7	1,7
Belo Horizonte	2,5	10,1	11,7	2,6	2,6
Distrito Federal	2,8	26,2	2,4	3,2	3,2
Vitória	2,7	19,1	11,8	3,3	3,3

Fonte: Dados apresentados por D' Almeida e Vilhena (2000)

O Cempre (Compromisso empresarial para a reciclagem), com sede no município de São Paulo, é uma instituição sem fins lucrativos que visa promover a reciclagem dentro de uma visão de gerenciamento integrado de resíduos sólidos.

A instituição desenvolve, desde 1992, uma pesquisa nos municípios brasileiros que fazem a coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos, mantendo um banco de dados atualizado (CEMPRE, 2004).

A Tabela 4 apresenta os 237 municípios brasileiros que realizam a coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos.

A composição percentual dos tipos de resíduos, nos municípios apresentados na Tabela 4, são indicados na Tabela 5.

Tabela 4: Municípios brasileiros que fazem a coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos

Estados	Municípios
Alagoas	Maceió
Amazonas	Manaus
Bahia	Alagoinha, Camaçari, Feira de Santana, Salvador, Valença, Vitória da Conquista
Ceará	Crato, Fortaleza, Jijoca de Jericoacoara, Viçosa, Santana do Aracá
Distrito Federal	Brasília
Espírito Santo	Colatina, Conceição da Barra, Guarapari, Vila Velha, Vitória
Goiás	Planaltina
Minas Gerais	Araguari, Belo Horizonte, Betim, Delfim Moreira, Divinópolis, Elói Mendes, Goiana, Itabira, Itaúna, Juiz de Fora, Lagoa da Prata, Lagoa Santa, Lavras, Montes Claros, Monte Carmelo, Nova Lima, Pará de Minas, Passos, Ribeirão das Neves, Uberaba
Mato Grosso	Primavera do Leste, Brasilândia, Caarapó
Pará	Belém
Piauí	Teresina
Paraíba	Campina Grande, João Pessoa
Pernambuco	Cabo de Santo Agostinho, Recife, Palmares, Salgueiro
Paraná	Almirante Tamandaré, Apucarana, Arapoti, Arapongas, Araruna, Astorga, Campo Largo, Cascavel, Coronel Vivida, Curitiba, Florai, Londrina, Mandaguari, Maringá, Marechal Cândido Rondon, Medianeira, Nova Esperança, Palmeiras, Ponta Grossa, Pontal do Paraná, Realeza, Ribeirão Claro, Rolândia, Toledo
Rio de Janeiro	Angra dos Reis, Areal, Barra Mansa, Niterói, Paraíba do Sul, Paty do Alferes, Nova Iguaçu, Nova Friburgo, Paracambi, Petrópolis, Rio Bonito, Rio de Janeiro, Sapucaia, Três Rios, Volta Redonda
Rio Grande do Norte	Areia Branca, Natal
Rio Grande do Sul	Alvorada, Braga, Canoas, Carlos Barbosa, Caxias do Sul, Crissiumal, Dois Irmãos, Estância Velha, Esteio, Farroupilha, Gravataí, Igrejinha, Ivoti, Lagoa Vermelha, Lajeado, Nova Petrópolis, Nova Prata, Novo Hamburgo, Panambi, Passo Fundo, Pelotas, Porto Alegre, Presidente Lucena, Rio Grande, Santa Cruz do Sul, Santo Ângelo, Santo Augusto, Santa Maria, Sapiranga, Sapucaia do Sul, Torres, Três Coroas, Três Passos, Viamão
Roraima	Boa Vista
Santa Catarina	Arvoredo, Água Doce, Arabutã, Balneário Camboriú, Blumenau, Catanduvas, Chapecó, Concórdia, Criciúma, Faxinal do Guedes, Florianópolis, Forquilha, Gaspar, Indaial, Ipumirim, Jaraguá do Sul, Joinville, Lajes, Lindóia do Sul, Nova Trento, Pomerode, Praia Grande, Timbó Grande, Tubarão
Sergipe	Aracaju
São Paulo	Americana, Angatuba, Araçoiaba da Serra, Araraquara, Assis, Atibaia, Barueri, Batatais, Bauru, Bebedouro, Birigui, Caieiras, Cajati, Campinas, Campos do Jordão, Capão Bonito, Capivari, Carapicuíba, Caraguatatuba, Catanduva, Cerquilha, Charqueada, Cordeirópolis, Corumbataí, Cubatão, Diadema, Eldorado, Franca, Garça, Guaratinguetá, Hortolândia, Itapira, Ithabela, Indaiatuba, Iracemápolis, Itatiba, Itatinga, Itu, Jales, Jandira, Jundiá, Leme, Limeira, Lins, Marília, Matão, Mauá, Mogi Mirim, Nhandeara, Nova Odessa, Paulínia, Pedregulho, Penápolis, Piracicaba, Pitangueiras, Praia Grande, Presidente Epitácio, Potirendaba, Rio Claro, Ribeirão Pires, Ribeirão Preto, Santa Bárbara do Oeste, Santa Rita D'Oeste, Santo André, Santos, São Bento do Sapucaí, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São José do Rio Preto, São José dos Campos, São Manuel, São Paulo, São Sebastião, São Vicente, Socorro, Sumaré, Taquaritinga, Taubaté, Tietê, Tupã, Ubatuba, Valinhos, Vinhedo, Votorantim

Fonte: Cempre (Ciclossoft-2004)

Tabela 5: Composição percentual média da coleta seletiva dos resíduos sólidos urbanos nos municípios brasileiros, pela Pesquisa Ciclosoft-2004 (%).

Materiais	1999	2002	2004
Papel/papelão	39,0	41,0	35,0
Plástico	15,0	18,0	15,0
Vidro	15,0	13,0	16,0
Longa Vida	2,0	1,5	2,0
Metais	15,0	10,5	8,0
Alumínio	0,7	1,5	2,0
Rejeitos	10,2	6,0	18,0
Diversos(*)	3,0	8,5	4,0

\*Inclui outros tipos de materiais recicláveis: baterias, pilhas, borracha, madeira, livros (reutilização) entre outros.

Fonte: Dados do Cempre (Ciclosoft-2004)

As embalagens são os invólucros da maior parte dos produtos que são consumidos. É a embalagem que apresenta e identifica o produto, além das suas principais funções: conservar e proteger os produtos adequadamente.

Os problemas ambientais da embalagem começam na sua produção industrial, que gera resíduos e consome energia e matérias-primas de fontes não-renováveis. Após seu descarte, quando não recicladas, as embalagens avolumam-se nos aterros.

A embalagem está associada à descartabilidade. Embalagens retornáveis ao processo produtivo estão desaparecendo devido à dualidade que estabelece, ou seja, se aproveitadas reduzem o consumo de recursos naturais envolvidos na sua produção e diminuem o volume dos resíduos sólidos urbanos, mas, em contrapartida, geram custos de transporte, consumindo energia de fontes não-renováveis.

O mercado de embalagem está em pleno crescimento. Forlin e Faria (2002) apresentaram dados das embalagens utilizadas no mundo, no ano de 2000. De acordo com os autores, o mercado de embalagens alcançou a cifra de US\$ 431 bilhões. Constataram ainda que a produção brasileira de embalagens foi estimada em 5,5 milhões de toneladas, ou US\$ 10 bilhões, em 1998, dos quais 61% se referem a alimentos. O setor deve crescer em torno de 35% em volume até o ano de 2005, alcançando 7,4 milhões de toneladas ou US\$ 8,7 milhões, aos preços de 1999.

Forlin e Faria (2002) apresentaram também os principais mercados de embalagens do mundo entre os anos de 1995 e 2000. São eles: Estados Unidos, Japão, Alemanha, França,

Itália, Reino Unido, China, Brasil e Espanha. Neste trabalho, foram apresentadas ainda as quantidades dos materiais mais utilizados no setor de embalagem no Brasil (Tabela 6).

Tabela 6: Segmentação do mercado de materiais de embalagens no Brasil (mil toneladas)

Material de embalagem	1990	1998	1999	Estimativa p/2005
Plástico (exceto PET)	384	739	785	1.036
PET	4	273	276	354
Papel	298	301	311	377
Papelão ondulado	915	1.616	1.742	2.309
Cartão	234	390	376	439
Flexíveis	135	343	350	488
Alumínio	19	184	180	225
Folhas metálicas	584	668	668	778
Aço	158	119	121	138
Vidro	514	492	481	584

Fonte: Forlin e Faria (2002)

A viabilidade da reciclagem de embalagens depende de diferentes fatores, pois cada produto tem suas características peculiares.

Nem todas as embalagens podem ser reutilizadas para o mesmo fim. Embalagens para alimentos, por exemplo, necessitam utilizar matérias-primas virgens.

#### 4.2.1 Embalagens plásticas

A maioria das embalagens de diferentes segmentos e tipos é feita de plásticos que, após descartadas, tornam-se um resíduo urbano, industrial ou mesmo agrícola, de origem inerte ou perigosa, dependendo do uso a que se destinou.

A reciclagem de embalagens plásticas é dificultada pela presença de materiais diferentes na mesma embalagem, como no caso da presença de termofixos em embalagens termoplásticas, além de papel, vidro, alumínio, etc. Esses materiais devem ser reaproveitados integralmente ou delaminados para serem reciclados separadamente, de acordo com o tipo de material plástico.

A dificuldade de recuperação de materiais plásticos pode ser explicada não pela falta de capacidade de se reaproveitar tais materiais, mas sim pela sua ocorrência em inúmeras variedades, de aparências semelhantes, porém incompatíveis química ou fisicamente, dificultando a existência de uma reciclagem única (REMEDI, 1999).

Antes de serem recicladas, as embalagens plásticas pós-consumo devem também ser lavadas para a retirada de restos de produtos que acondicionavam evitando a contaminação gerada após o descarte. Se a contaminação da embalagem persistir, a reciclagem será dificultada e produzirá materiais reciclados de baixa qualidade.

De acordo com Forlin e Faria (2002), as opções para a reciclagem de embalagens plásticas são:

- transformação mecânica em novos materiais ou produtos: consiste em submeter os materiais plásticos a processos mecânicos, moldando-os fisicamente em uma forma diferente da original, preservando propriedades físicas, químicas e mecânicas dos polímeros originais;
- recuperação de resinas: também conhecida como reciclagem química, compreende a despolimerização dos materiais plásticos de embalagem, a recuperação e purificação dos monômeros originais, podendo, então, serem novamente polimerizados para fabricação de novas embalagens plásticas primárias, ou de outros materiais;
- reutilização de embalagens: compreende a recuperação de embalagem integral pós-consumo para o desempenho da função originalmente planejada. Apresenta a desvantagem de exigir alto consumo energético para o transporte e nas operações de monitoramento, controle e adequação ao ciclo de reutilização;
- transformação energética: prevê a combustão ou pirólise dos materiais plásticos utilizados como embalagem com recuperação de energia liberada, permitindo uma redução considerável da utilização de outras fontes de matérias-primas não-renováveis, tradicionalmente utilizadas para obtenção de energia. Indicados para quando não existam outras formas de reciclagem apropriadas;
- degradação ambiental: os plásticos são inertes e apresentam índices desprezíveis de decomposição. Para aumentar os índices de degradação no meio ambiente, tem-se estudado a possibilidade de incorporação de elementos na estrutura da embalagem que promovam processos de fotodegradação.

Dentre as embalagens plásticas o filme plástico é uma das mais utilizadas. Ele consiste em uma película plástica usada como sacolas de supermercado, sacos de lixo, embalagens de leite, lonas agrícolas e proteção de embalagens de alimentos, embalagens de cigarro, etc.

Segundo Remédio (1999), o filme plástico corresponde, em média, a 29% do total de plásticos separados pelas cidades que fazem a coleta seletiva. Cerca de 80% dos sacos e embalagens de filme plástico são produzidos com polietileno e 20% com polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC) e outras resinas.

A maior parte das embalagens plásticas, destinadas às indústrias de alimentos, apresentam dois ou mais tipos de plástico em seu processamento.

As embalagens para indústrias de alimentos variam de acordo com a exigência do produto, mas são, em geral, sacos encolhíveis multicamadas e laminados, filmes com barreiras, filmes perfurados, termoformados, almofadas absorventes, bandejas, filme encolhível de alto desempenho, plástico bolha e sistemas infláveis de embalagens.

Essas embalagens se destinam ao acondicionamento de carnes frescas, defumadas e processadas, queijos, frios fatiados, aves, peixes, e diversos outros alimentos.

As embalagens que envolvem alimentos tipo embutidos são compostas por sistema de multicamadas e são problemáticas no momento do reprocessamento industrial, já que são compostas por materiais diferentes.

#### 4.2.2 Embalagens multilaminadas

As embalagens multilaminadas são utilizadas para envase de alimentos líquidos, encontradas em diferentes formatos, com volume variando entre 100 e 2000 ml. São constituídas por três matérias-primas: papel duplex, alumínio e polietileno de baixa densidade (PEBD). De acordo com Neves (1999), são popularmente conhecidas como embalagens longa vida e são constituídas de 6 camadas, conforme pode ser observado na Figura 1.

Cada camada apresenta uma função. A primeira camada é PEBD e protege a embalagem contra a umidade exterior; a segunda camada é de papel e confere estabilidade e resistência à embalagem; a terceira camada é novamente de PEBD, tendo a função de aderência; a quarta camada é composta por uma folha de alumínio que funciona como barreira contra oxigênio e

luz (proteção ao aroma); a quinta camada é de PEBD, tendo a função novamente de aderência e a sexta camada é de também de PEBD, tendo a função de proteger o líquido.

As camadas internas de PEBD têm a função de impermeabilizar a embalagem internamente, evitando o contato do alimento com o alumínio.

A camada de alumínio impede a entrada de luz e ar, o que garante a preservação dos alimentos (NEVES, 1999).

A composição da embalagem multilaminada é de 75% de papel duplex (fibra celulósica longa), 20% de PEBD e 5% de alumínio.

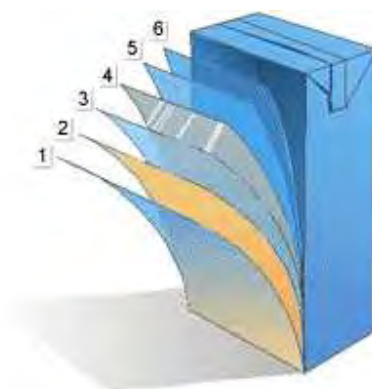


Figura 1: Estrutura de uma embalagem multilaminada

As embalagens multilaminadas são produzidas no mundo por um número reduzido de empresas, como a alemã PKL®, a americana Liquipack® e a sueca TetraPak®, sendo esta última a que mais se destaca no mercado brasileiro.

Após serem consumidas, essas embalagens são enfardadas e apresentam um custo de comercialização de U\$ 21,13 a U\$ 24,65 por tonelada.

Em 2000, o Brasil consumiu 6 bilhões de embalagens multifoliadas, sendo apenas 15% recicladas. Em 1999, a taxa de reciclagem foi de 10%.

Estudos desenvolvidos no município de São Manuel-SP constataram que cada habitante descarta 14 g/dia de embalagens multifoliadas, ou seja, uma embalagem multifoliada de um litro a cada dois dias. Esse material representa 5,21% do total dos materiais recicláveis no município (CHAMMA e HILÁRIO, 2004).



No Brasil, é previsto o aumento da reciclagem dessas embalagens nos próximos anos devido, principalmente, à expansão da coleta seletiva e ao desenvolvimento de novos processos tecnológicos. Nos EUA, a taxa de reciclagem desse material é de 25% e na Alemanha é de 60% (EMBALAGENS...2001).

Ribeiro (1998) cita diferentes formas de aproveitamento pós-consumo da embalagens multilaminadas:

- processo de aproveitamento das fibras *Kraft*, denominado “hydropulping”: o processo consiste na hidratação das embalagens seguida de agitação por 35 minutos, a fim de promover a separação da polpa celulósica do plástico e do alumínio, com um rendimento de 65%, onde o papel recuperado pode ser utilizado na produção de papel toalha, caixas de papel, etc;
- geração de energia: com combustão do material em um forno à temperatura de 1200 °C;
- confecção de briquetes: utilizados como combustível, apresentando um poder calorífico comparável ao da madeira, embora as cinzas resultantes da combustão não sejam consideradas inertes, já que seus valores ultrapassam o limite máximo permitido, em relação ao elementos metálicos alumínio e cádmio;
- produção de compósitos com resinas termoplásticas: utilizados em diferentes proporções de embalagem multifoliadas com outros plásticos como polipropileno (PP) e polietileno de alta densidade (PEAD), resultando em produtos plásticos moldáveis.

Caraschi e Leão (1999) estudaram as propriedades de compósitos feitos a partir da embalagem multilaminadas. O plástico e o alumínio, presentes na embalagem, foram aglutinados e, em seguida, encaminhados ao processo de extrusão. A partir do compósito obtido, concluiu-se que as embalagens multifoliadas pós-consumo são potencialmente recicláveis, resultando em um material leve, resistente e de baixo custo, podendo competir com o termoplástico polietileno de baixa densidade virgem em diversas aplicações.

Mesmo que existam várias tecnologias de aproveitamento dessa embalagem, a viabilidade da sua reciclagem depende, inicialmente, da expansão do sistema de coleta seletiva urbana.

No Brasil, muitas empresas estão envolvidas e interessadas na reciclagem da embalagem longa vida. Somente a Klabin, no município de Piracicaba-SP, tem capacidade para reciclar 50 t/dia dessa embalagem. A Santa Clara Papéis, no Estado do Paraná, adquire embalagens longa vida de coletas seletivas de toda a região sul, e a Paraibuna Papéis, em Juiz de Fora, Minas Gerais, adquire embalagens longa vida pós-consumo das coletas seletivas dos Estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Nordeste (SAVASTANO, 2001).

#### 4.3 Resíduos agroindustriais

##### 4.3.1 Casca de arroz

De acordo com Fonseca et al. (1980), a planta de arroz cultivada (*Oryza sativa* L) é uma monocotiledônea, pertencente à família Oryzaceae, sub-família Pooideae e família Graminae (Poaceae).

A produção brasileira de arroz em casca, segundo dados do IBGE em 2003, foi de 10.319.925 t (IBGE, 2003)

A casca de arroz (Figura 2) é um subproduto do beneficiamento do grão de arroz. As empresas beneficiadoras de arroz são as principais consumidoras da casca, já que a mesma é utilizada como combustível para a secagem e parbolização dos grãos. Muitas dessas empresas, devido ao seu pequeno porte, não descartam adequadamente as cinzas produzidas nesse processo.

A casca de arroz possui em torno de 32% de celulose, 28% de lignina, 20% de hemicelulose e 20% de matéria inorgânica.

Segundo Souza e Yamamoto (1999), no percentual de matéria inorgânica da casca de arroz, 96% são compostos por sílica, óxidos de potássio, magnésio, sódio e cálcio, o restante são traços de elementos como ferro, manganês e alumínio.

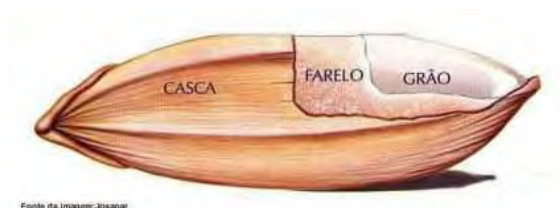


Figura 2: Constituição do grão de arroz

A casca de arroz pode ser utilizada como material isolante, geração de gás, produção de furfural (aplicado nas indústrias de vernizes, resinas sintéticas, adesivos), material de construção (tijolos, isolante térmico).

De acordo com Della et al. (2001), a casca de arroz apresenta alta dureza, fibrosidade, natureza abrasiva e boa resistência ao desgaste. Sua cinza é utilizada na estabilização de solos e aterros sanitários, na fabricação de vidros, isolantes térmicos, tijolos prensados e materiais refratários. Por apresentar características pozolânicas, as cinzas de casca de arroz são utilizadas como aditivos em cimento Portland e na forma de agregado em argamassas e concretos.

#### 4.3.2 Casca de amendoim

O amendoim é uma planta dicotiledônea, pertencente à família Leguminosa, sub-família Papilionoideae, família Corohillaea, gênero *Arachis*. As variedades cultivadas pertencem à espécie *Arachis hypogaea* L.. A planta de amendoim é herbácea, anual, pubescente, ramificada, de porte rasteiro, erecto ou intermediário, alcançando uma altura máxima de 50 a 60 cm, caracterizando-se por ter um crescimento intermediário e floração contínua (BRINHOLI, 1993).

A cultura de amendoim é considerada de importância no Brasil devido à sua utilização na alimentação humana e animal, destacando-se a produção de grãos destinados à fabricação de doces e extração de óleo. Nos últimos anos, a cultura do amendoim ganhou maior importância quando passou a ser utilizada em rotação com a cultura de cana-de-açúcar, nas áreas de reforma de canaviais. Tal uso se deve ao fato dessa cultura apresentar grande

capacidade de aproveitamento da adubação residual de outras culturas, além do ciclo curto que viabiliza essa rotação (MARUBAYASHI, 1993).

A casca de amendoim (Figura 3) é obtida quando há o beneficiamento do amendoim, com intenção de separação da semente da casca. Essa operação geralmente é feita pela indústria, já que o amendoim é comercializado em vagens. A casca oferece uma maior proteção contra a deterioração.

Segundo Themem (1998), o amendoim com casca, quando está seco e limpo, pode ser armazenado por períodos mais prolongados, comparados com o amendoim descascado, já que sem a proteção da casca estará sujeito a danos mecânicos e exposto ao ataque de insetos e microrganismos. A produção de amendoim com casca no Brasil, em 2003, foi de 177.461 toneladas (IBGE, 2003).



Figura 3: Casca de amendoim

#### 4.4. Elementos arquitetônicos

Os elementos arquitetônicos são todos os materiais utilizáveis e reutilizáveis na construção e decoração. Mano (2000) descreveu que o primeiro elemento utilizado nas construções foi a madeira, seguida pela rocha, pelos metais, pela cerâmica, pelo vidro e finalmente pelos polímeros.

De acordo com Mano (2000), os materiais de construção dividem-se em materiais orgânicos e materiais inorgânicos. Os materiais orgânicos compreendem a classe dos produtos renováveis pertencentes ao reino animal e vegetal, contendo carbono e hidrogênio, podendo apresentar também em sua composição, átomos de oxigênio, nitrogênio, enxofre ou fósforo.

Os materiais inorgânicos compõem a maior parte da crosta terrestre e pertencem ao reino mineral, sendo encontrados em rochas e constituídos de metais e seus derivados: óxidos, hidróxidos, sulfetos, cloretos, silicatos, carbonatos, etc.

#### 4.4.1 Plástico

O plástico foi amplamente aceito pela sociedade e, na atualidade, é possível observar os efeitos do seu acúmulo nas cidades.

O destino final dos plásticos, quando inadequado, prejudica demasiadamente o meio ambiente, devido à sua não-degradabilidade. Assim sendo, é comum os plásticos se avolumarem nos aterros e nos rios.

Os plásticos apresentam características bem definidas: resistência à corrosão, baixa densidade, isolamento elétrico, baixa resistência à tração, baixo módulo de elasticidade, baixa resistência às altas temperaturas, coeficiente de dilatação elevado, combustibilidade, baixa condutibilidade térmica e alta resistência à biodegradação. Esta última propriedade, desejada na vida útil do material, torna-se problemática no seu descarte final.

No setor da construção civil, o plástico ocupa lugar de destaque, com diferentes possibilidades de uso. No entanto, a maior parte dos plásticos apresenta propriedades físicas e mecânicas inferiores em comparação aos materiais tradicionais. Esse aspecto negativo do plástico é superado pela possibilidade de produção em série e pela uniformidade resultante.

Os plásticos são classificados quanto à fusibilidade e/ou solubilidade em: termoplásticos e termofixos.

As resinas termoplásticas são moléculas que podem ser amolecidas pelo calor e que, ao se resfriarem, retornam ao seu estado original. Os termoplásticos são fundamentados em polímeros lineares ou ramificados, que amolecem com temperaturas elevadas (dependendo do tipo de resina e da presença de aditivos) e tornam-se rígidos quando resfriados sem perdas significativas de suas propriedades físicas. Essa característica faz dos termoplásticos um material adequado à reciclagem.

Os termoplásticos são subdivididos em dois grupos: os convencionais e os de engenharia.

Os termoplásticos convencionais são os polipropilenos, polietilenos de alta e baixa densidades, poliestireno e seus derivados, policloreto de vinila e poli (tereftalato de etileno). Os termoplásticos de engenharia mais conhecidos são os poliésteres, as poliamidas (náílon), os policarbonatos e os poli (óxido de fenileno).

As resinas termofixas, como as resinas fenólicas, epóxi e poliuretano, não conseguem se fundir com o aquecimento e após serem moldada e endurecida não podem ser reciclada. Os plásticos termofixos compõem inúmeras peças na área de mecânica e na indústria automobilística. São exemplos de polímeros termofixos: fenol-formaldeído, melamina-formaldeído, uréia-formaldeído, resinas epoxy e alguns poliésteres.

Os polímeros termoplásticos e os termofixos são aplicados no setor da construção civil. Tanto Aguiar (2001) quanto Manrich et al. (1997), descrevem algumas utilizações do plástico como elemento arquitetônico:

- policloreto de vinila (PVC) em tubulações de água, esgoto e eletricidade, coberturas, calhas, esquadrias, persianas, venezianas, forros, divisórias, galpões infláveis e estruturados, mantas de impermeabilização, pisos, revestimento de paredes e piscinas;
- poliestireno expandido em pisos flutuantes, painéis, paredes, divisórias, decoração, forro, isolantes térmicos e acústicos;
- polietilenos em proteções de parede e laje, cobertura de materiais, cobertura protetora de equipamentos e proteção contra poeiras em reformas;
- policarbonato em coberturas, postes de iluminação;
- náilon em reforços de telhas plásticas, buchas de fixação, tecido impermeáveis;
- fiberglass em usos estruturais, painéis de vedação, paredes divisórias ou equipamentos, além de banheiras e piscinas;
- poliacrílico em box e banheiras;
- poli(acetato) de vinila (PVA) e resinas fenólicas, em tintas e vernizes.

O caráter reciclável do plástico e os estudos dos compósitos podem ser, no futuro, a principal característica de aumento da sua demanda como elemento arquitetônico.

#### 4.4.2 Compósitos

Os compósitos foram criados pelas diferentes áreas de engenharia com o objetivo de substituir materiais tradicionais e naturais, seja pela sua escassez, pelo custo ou pela melhoria de suas propriedades.

De acordo com Leão (1997):

Compósitos são materiais reconstituídos a partir de um ou mais materiais dispersos numa matriz e chamados de carga de reforço ou carga de enchimento. A matriz envolve e segura o reforço, dando forma ao compósito. O material de reforço pode ser fibras curtas, contínuas, pós, esferas, etc. e fornece resistência (como as barras de aço de uma viga de concreto). O importante num compósito é o efeito sinérgico que se observa no sistema, onde as propriedades finais do compósito são uma mistura melhorada das propriedades de seus componentes individualmente.

Para Mano (2000), os principais componentes de compósitos empregados em toda a engenharia são classificados como estruturais e matriciais. O autor compara um sistema compósito ao corpo humano em que há muitos componentes estruturais (ossos, dentes e músculos) e diversos componentes matriciais (gorduras e proteínas).

O elemento estrutural pode ser orgânico ou inorgânico, com forma regular ou irregular, fibroso ou pulverulento (esférico ou cristalino), com fragmentos achatados (flocos) ou fibras muito curtas, com dimensões quase moleculares, de material monocristalino. Seu papel é suportar cargas e impedir que as deformações ultrapassem limites aceitáveis.

O elemento matricial é quase sempre um polímero orgânico, macio ou duro, termoplástico ou termofixo. O papel da matriz é manter a orientação das fibras e seu espaçamento, transmitir as forças de cisalhamento entre as camadas das fibras para que o compósito resista a dobras e torções e proteger as fibras de danos superficiais.

A madeira é um compósito natural, cujo componente estrutural são as fibras de celulose e o componente matricial que atua como aglutinante é a lignina. Segundo Leão (1997), a madeira é o material lignocelulósico mais comum utilizado como reforço em compósitos.

Outros materiais podem ser incorporados em compósitos, aplicados em diversos setores industriais, como na construção civil, indústria automotiva e de embalagens, etc. São exemplos de compósitos poliméricos aplicados como elementos arquitetônicos:

- telhas corrugadas, tendo como componente estrutural o vidro e como componente matricial o poliéster insaturado;
- lonas utilizáveis como subcobertura, tendo como componente estrutural o poliéster saturado e como componente matricial o policloreto de vinila (PVC).

#### 4.4.3 Madeira

A madeira está associada à história da humanidade. Esse recurso natural renovável sempre foi utilizado pelo homem para o fornecimento de alimentos, combustível, transporte, ferramentas, papel, móveis e habitações.

Durante anos da história da civilização, a madeira disponível foi suficiente para dar bem estar ao homem. O ritmo de renovação da madeira era pertinente ao ritmo da sua exploração.

As florestas nativas são abatidas com finalidades que vão além do consumo necessário à subsistência humana.

A expansão das cidades, das fronteiras agropecuárias, das atividades de mineração e das rodovias, são exemplos de situações que ocasionam a exploração predatória das florestas nativas.

A escassez das florestas nativas tem levado à substituição gradativa por florestas de rápido crescimento. As florestas plantadas se apresentam como saída ao fornecimento de



matéria-prima para as indústrias de celulose e papel, painéis e carvão vegetal, como também para o setor do mobiliário e da construção civil.

A madeira é imprescindível na arquitetura e apresenta vantagens sobre outros materiais de construção, destacando-se por ser uma matéria-prima renovável, comparada a outras matérias-primas finitas, oriundas do petróleo, do gás natural ou das fontes minerais. Ao cumprir seu papel em uma edificação, a madeira pode ainda ser transformada em fonte energética.

A madeira apresenta uma série de vantagens para uso como materiais de construção, segundo Verçosa (1987):

- boa resistência à compressão e tração, principalmente quando se considera o relacionamento com o peso próprio;
- facilidade de trabalhabilidade;
- isolante térmico;
- durabilidade, sob condições adequadas;
- mais leve, elástica e econômica que as alvenarias comuns;
- embora seja combustível, sob a ação do fogo cobre-se inicialmente de uma camada de carvão, que protege o seu núcleo por mais tempo. Já o metal, por exemplo, amolece rapidamente sob a ação do fogo.

Com a abundância de florestas no Brasil, seria lógico o desenvolvimento de técnicas e de uma linguagem arquitetônica voltada para a madeira. No entanto, sua utilização está caracterizada predominantemente como elemento transitório nas edificações (fôrmas de concreto, tapumes, pontaletes de escoragem, tábuas de locação, etc), como elementos funcionais (estrutura, cobertura) ou como material de acabamento e mobiliário.

Há uma deficiência na formação acadêmica dos arquitetos e engenheiros civis no domínio da tecnologia da madeira. Além disso, o Brasil tem uma tradição em construções de alvenaria, herdada do período colonial, por influência de Portugal.

O desconhecimento de sistemas construtivos em madeiras gerou barreiras ao longo da história com relação às construções desse tipo de material, mesmo sendo o Brasil um país de vocação florestal.

Os sistemas construtivos em madeira podem ser melhores em relação aos sistemas tradicionais de alvenaria de tijolos, nos seguintes aspectos:

- edificações em madeira apresentam um peso menor do que quando feitas em alvenaria, gerando assim um menor consumo de material de construção para as fundações;
- paredes de madeira podem apresentar baixa condutibilidade térmica e oferecer uma absorção sonora superior às paredes de alvenaria;
- em função do projeto, construções de madeira podem ter componentes pré-fabricados, o que representa redução do tempo de obra e desperdício de materiais, comparando-se aos sistemas tradicionais de construções de alvenaria;
- as instalações hidráulicas e elétricas podem ser feitas e mantidas sem quebrar paredes, como ocorre no sistema tradicional de construção de alvenaria.

No Brasil, a diversidade biológica das florestas apresenta uma potencialidade em espécies de madeira, pouco aproveitadas, levando ao uso abusivo de umas poucas espécies.

A arquitetura, ao ditar tendências de moda, interfere na escolha das espécies florestais a serem aplicadas em construções e mobiliários. Projetos que introduzem novas espécies florestais, que não são comumente utilizadas, ampliam as possibilidades de aplicação da madeira na construção civil.

A exigência de certificação de madeiras e o estabelecimento de uma política de reflorestamento podem influir na expansão do uso de madeira na construção civil.

De acordo com Rampozzo e Sponchiado (2000), existem atualmente novas tecnologias que consagram definitivamente a madeira como material de construção. Para eles, o futuro está no caminho dos materiais renováveis e compete aos arquitetos, engenheiros, madeireiros e

outros que trabalham com a madeira estabelecerem o elo que falta entre as tecnologias avançadas no campo da construção e as madeiras cultivadas no Brasil.

Os diferentes tipos de painéis de madeira têm ampliado as possibilidades de uso de madeira na arquitetura, por oferecer superfícies com larguras maiores, otimizando sua aplicação.

#### 4.5 Painéis de madeira

São produtos de grandes superfícies, construídos a partir de elementos de madeira ou outros materiais lignocelulósicos de vários tamanhos (fibras, partículas, lâminas, etc.), unidos através de aglutinantes ou aproveitando as propriedades auto-aglutinantes de alguns dos componentes do material lignocelulósico (LARA PALMA, 2003).

As árvores apresentam diferentes dimensões e diferentes direções de crescimento, formando lenhos distintos. A presença de defeitos das árvores interfere na estética e no comportamento físico e mecânico das peças delas retiradas. As peças de madeira também sofrem interferência do crescimento das árvores, já que as mesmas apresentam características distintas nas direções de crescimentos tangencial, radial e longitudinal.

Os painéis de madeira apresentam vantagens como:

- a homogeneidade e a ausência de defeitos comuns nas peças de madeira serrada;
- o aproveitamento integral das partes das árvores;
- a possibilidade de produzir grandes superfícies contínuas, com diferentes dimensões em relação à demanda;
- a incorporação de resíduos da indústria madeireira e de outros setores produtivos, agregando valor aos painéis;
- o controle sobre as propriedades físicas e mecânicas;
- a inclusão de produtos ou processos que conferem resistência ao fogo e garantam sua durabilidade;
- a homogeneidade na produção;

- a eliminação de rachaduras e empenamentos e boa resistência mecânica aos esforços.

#### 4.5.1 Classificação de painéis de madeira

Segundo Lara Palma (2004), os painéis de madeira se classificam em compensados, chapas de fibras, chapas de partículas e painéis especiais.

Os compensados são normalmente compostos de lâminas cruzadas entre si ou lâminas em combinação com miolo sarrafeado ou outro tipo de painel à base de madeira, com densidade de aproximadamente 0,40 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>, classificadas conforme Figura 4.

As chapas de partículas são fabricadas de materiais lignocelulósicos (geralmente madeira), na forma de partículas, com adição de adesivos e consolidadas em condições específicas de temperatura, pressão e umidade, classificadas conforme Figura 5.

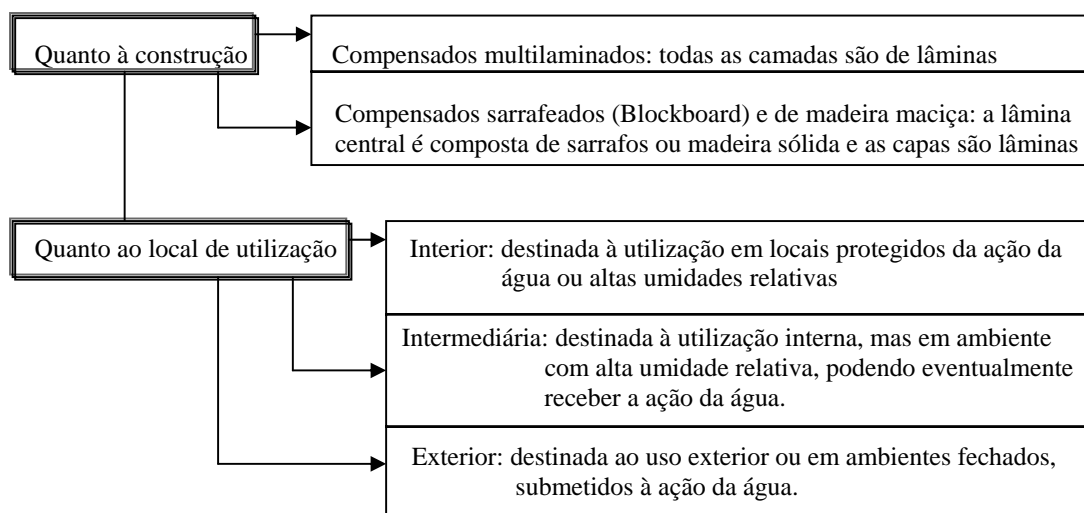


Figura 4: Classificação dos compensados

Fonte: Dados de Lara Palma (2003)

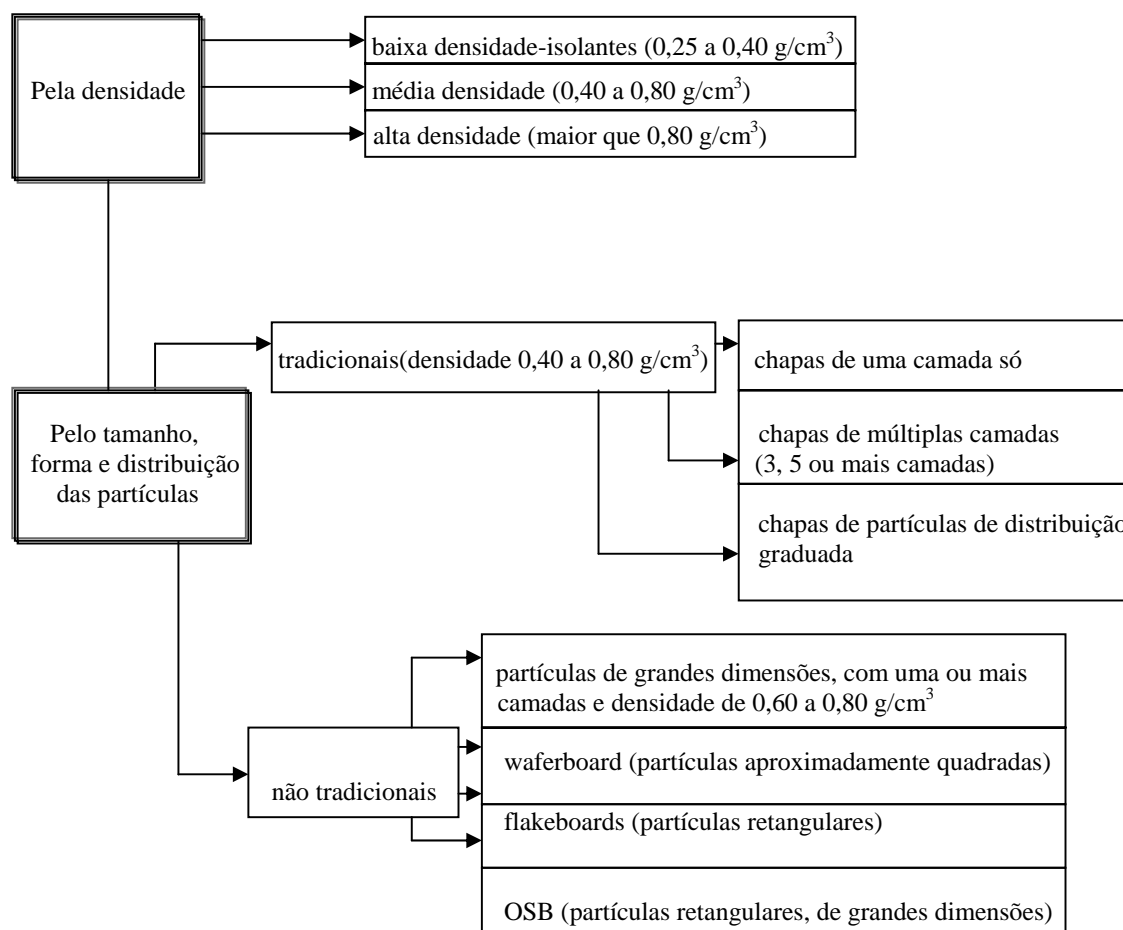


Figura 5: Classificação de chapas de partículas  
 Fonte: Dados de Lara Palma (2003)

As chapas de fibras são fabricadas com fibras de madeira ou outros materiais lignocelulósicos fibrosos, entrelaçadas e unidas com ou sem adesivo, classificadas conforme Figura 6.

Os painéis especiais são produzidos pela combinação de diferentes camadas, tais como lâminas combinadas com partículas ou fibras.

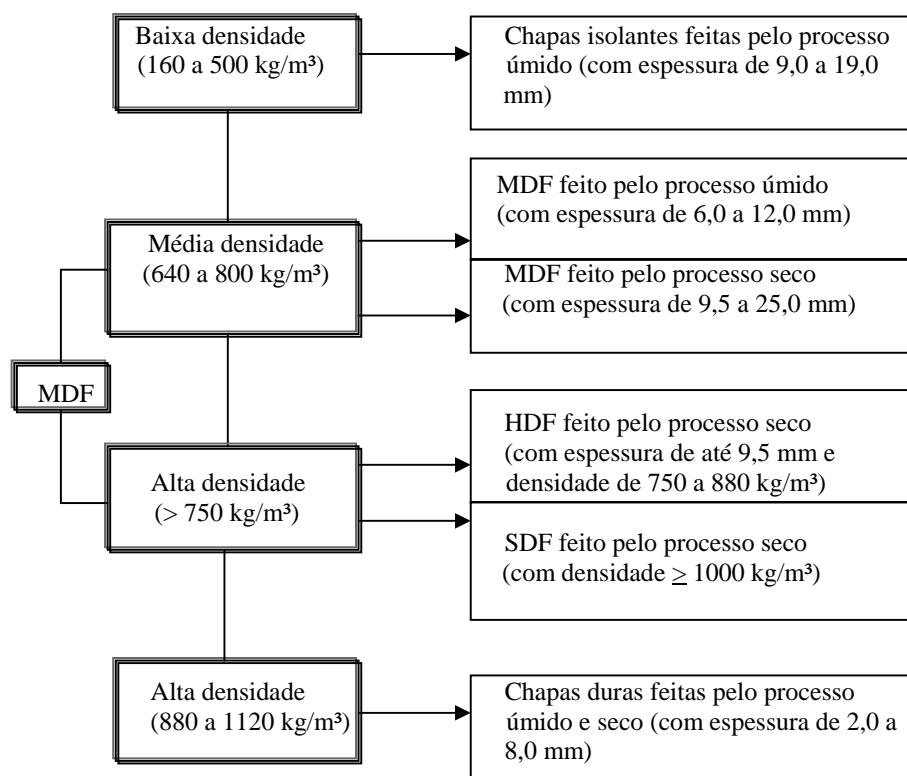


Figura 6: Classificação de chapas de fibras  
Fonte: Dados de Lara Palma (2003)

#### 4.5.2 Matéria-prima dos painéis de madeira

A necessidade econômica, aliada às questões ambientais, motiva a utilização dos resíduos florestais, industriais, agrícolas, das fibras naturais e de reciclados, na fabricação de painéis. De acordo com Lara Palma (2003), no Brasil as madeiras roliças empregadas são toras de grandes dimensões para produção de lâminas na indústria de compensados, obtidas de mata nativa e reflorestamentos e toretes para produção de aglomerados e chapas de fibras.

No Brasil, diferentes espécies de *Pinus* e Eucalipto são amplamente usados, com idade de 6~8 anos. ( $\varnothing$  min. de 4~ 6 cm ) para produção de aglomerados e chapas de fibras.

Os resíduos florestais empregados são resultados das atividades de exploração, principalmente como desbaste, despona, árvores quebradas, árvores finas, galhos da copa, madeira do toco, etc., utilizados nas indústrias de aglomerados e de chapas de fibras. Já os resíduos industriais podem ser resultantes de serrarias (costaneiras, serragem, refugos sólidos, etc.), indústria de móveis (maravalha, refugos sólidos, etc.) e indústria de painéis (perdas de laminação, esquadrejamentos, etc.), utilizados pelas indústrias de aglomerados e chapas de fibras.

Resíduos agrícolas como palhas de culturas agrícolas ou bagaço de cana-de-açúcar, fibras naturais como as de linho, de sisal e de palmeiras, podem também serem empregados pelas indústrias de aglomerados e chapas de fibras.

A madeira proveniente do descarte de mobiliários ou de demolição de construções pode igualmente ser aproveitada para a produção de painéis aglomerados e chapas de fibras.

#### 4.5.3 Painéis aglomerados

Segundo o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, a produção mundial de aglomerados, alcançou 84 milhões de m<sup>3</sup>, em 2000, sendo que o Brasil se posiciona em nono lugar, com 2% do volume produzido (BNDES, 2004).

No período de 1996/2000, a produção brasileira de aglomerados evoluiu de 1.059 m<sup>3</sup> para 1.762 mil m<sup>3</sup>, o que representa um crescimento médio anual de 13,6%, bastante superior à taxa mundial de 5,8%. Em 2001, a produção brasileira foi de 1.833 m<sup>3</sup>, sendo 4% maior que a do ano anterior. Esse crescimento está associado à necessidade de substituição do uso de madeira maciça na indústria moveleira e na construção civil face à escassez de oferta, evolução tecnológica que permitiu melhor usinagem dos painéis aglomerados e a melhoria da percepção do consumidor final sobre a qualidade do aglomerado (BNDES, 2004)

O mercado de chapas de partículas se destina ao uso industrial (embalagens, pallets, container, móveis, partes de veículos e artefatos elétricos), uso estrutural na construção civil (forros, divisórias, pisos, fôrmas e caixas de concreto, paredes internas e externas, etc.) ou

ainda para confecção de brinquedos, prateleiras e usos domésticos. Em geral, a densidade dos aglomerados produzidos no Brasil varia de 0,4 a 0,8 g/cm<sup>3</sup>, confeccionados em prensas contínuas e descontínuas. As indústrias brasileiras de aglomerados utilizam principalmente madeira em toretes provenientes de espécies de rápido crescimento.

#### 4.5.3.1 Ciclo de prensagem dos painéis aglomerados

Desde a década de 80, as indústrias de painéis aglomerados, visando atender às necessidades dos setores da construção civil e de mobiliário, apresentaram uma evolução significativa em termos de produção e inovação tecnológica (IWAKIRI et al., 1999).

As indústrias do setor de painéis de madeira buscam qualidade a um menor custo.

A qualidade de um painel aglomerado está ligada ao ciclo de prensagem, cujas variáveis interferem no uso final pretendido. O controle adequado dessas variáveis possibilita melhores propriedades de resistência e estabilidade dimensional. São variáveis importantes no ciclo de prensagem: a geometria das partículas, o teor de umidade das partículas, o tempo de fechamento da prensa, o tempo de prensagem, a temperatura da prensa, a pressão e o gradiente vertical de densidade.

##### 4.5.3.1.1 Geometria das partículas

A geometria das partículas é uma das variáveis que determinam as características físicas e mecânicas de um painel. As partículas, que podem ser de madeira ou qualquer outro material lignocelulósico, são geradas em equipamentos como picadores ou moinhos, que acabam por definir se as partículas serão curtas ou longas, finas ou espessas, flexíveis ou não.

Partículas, segundo a definição da ASTM D1037 (ASTM, 1996), são os componentes agregados de uma chapa de partículas de madeira ou outro material lignocelulósico, incluindo todas as menores subdivisões da madeira, fabricadas por meios mecânicos. As diversas propriedades dos painéis são afetadas pelas variações nas dimensões das partículas. As



partículas com espessuras maiores melhoraram também o inchamento em espessura e a resistência ao arrancamento de parafusos.

#### 4.5.3.1.2 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade das partículas, na prensagem em um painel, exerce influência na resistência à compressão, já que, com a temperatura, ocorre a plasticização das partículas, e daí a menor resistência à compactação do material. No processo de prensagem, a transferência de calor ao interior do painel é comandada pela umidade. Essa transferência de calor promove a cura da cola e a plasticização do material. De acordo com Albuquerque et al. (2000), o teor de umidade das partículas de madeira deve se situar entre 3 a 6%, sendo que esse teor pode se elevar na operação de aplicação do adesivo.

Segundo Matos (1988), o colchão, sob pressão, atinge mais rapidamente a espessura desejada se as partículas estiverem com teor de umidade adequado. Se a umidade das partículas for excessiva, haverá a necessidade de um maior tempo de prensagem, até que o vapor seja liberado e ocorra a adesão entre as partículas das camadas interiores. Se a umidade estiver abaixo dos valores mínimos, haverá a redução da transferência de calor da superfície ao centro do painel, acarretando uma adesão insatisfatória entre as partículas. O alto teor de umidade provoca a elevação da pressão interna de vapor no painel durante a prensagem a quente e a ocorrência de delaminação no momento da abertura dos pratos da prensa (IWAKIRI, et al., 2000).

#### 4.5.3.1.3 Tempo de fechamento da prensa

O tempo decorrido entre o contato dos pratos da prensa e o momento em que os pratos atingem os espaçadores ou a espessura final, é considerado o tempo de fechamento da prensa. De acordo com Matos (1988), o tempo de fechamento é estabelecido pelo ajuste da pressão inicial de prensagem, havendo equipamentos que permitem mantê-la constante.

Para altas pressões iniciais, o tempo de fechamento é rápido e o material é mais densificado nas camadas superficiais do que nas camadas internas. Cada camada de partículas

é comprimida de acordo com a última força de compressão atingida durante o tempo de fechamento da prensa.

Quando há um fechamento mais lento da prensa, há pouca pressão exercida sobre o material, ocasionando menor compactação das camadas superficiais e uma distribuição mais uniforme de densidade por todo o painel. No entanto, pode ocorrer a pré-cura da resina nas partículas que estejam em contato com os pratos aquecidos da prensa. Dessa forma, a adesão ocorrerá rapidamente nas camadas superficiais, afetando a resistência do painel.

#### 4.5.3.1.4 Tempo de prensagem

Tempo de prensagem é o tempo decorrido entre o momento que os pratos da prensa atingem os espaçadores ou a espessura final até o momento em que a prensa é reaberta. É nesse tempo que ocorre a transferência de calor para o centro da chapa e a liberação de umidade pelo vapor, ocasionando a cura da resina nas camadas do painel.

A definição do tempo de prensagem de um painel é também um parâmetro econômico que implica analisar a relação custo/benefício, já que um menor tempo de prensagem gera menor custo energético, mas pode reduzir as propriedades de resistência do painel. Surge, daí, a necessidade do uso de adesivos que podem acelerar o processo de cura das resinas, resultando em uma necessidade de menor tempo de prensagem.

Segundo Lara Palma (2003), o tempo de prensagem ideal é aquele em que ocorre a cura satisfatória da cola e uma boa evaporação da umidade contida no material. Para o autor, os tempos de prensagem geralmente oscilam entre 15 a 24 segundos por milímetro de espessura do painel para prensas de múltiplas aberturas e temperaturas entre 160 e 170 °C e de 8 a 12 segundos por milímetro de espessura do painel em prensas de uma abertura com temperatura entre 180 a 210 °C.

#### 4.5.3.1.5 Pressão

A pressão exerce influência sobre a área de contato das partículas, colaborando na obtenção de uma maior resistência do painel. Quanto maior a área de sobreposição entre as partículas, maior será a resistência do painel.

Há uma relação intrínseca entre a pressão e a distribuição do adesivo, a fim de obter uma maior área de contato das partículas que compõem o painel. A pressão pode ser aumentada para compensar a adoção de pequena quantidade de resina.

A utilização de espaçadores que definem a espessura de um painel interfere na pressão, pois parte dela é transferida para os espaçadores.

Segundo Matos (1988), quantidades elevadas de umidade permitem a compressão mais fácil das partículas, reduzindo a pressão necessária para se levar o material a espessuras desejadas devido ao efeito de plasticização.

De acordo com Lara Palma (2003), as pressões de prensagem utilizadas normalmente na produção de painéis variam de 12 a 40 kgf/cm<sup>2</sup> e são, geralmente, aplicadas em três etapas. A primeira é a etapa de densificação (fechamento rápido da prensa); a segunda é a etapa de consolidação, em que é mantida a pressão inicial e a última etapa é a redução da pressão e abertura da prensa, que deve ser gradativa, a fim de não permitir a saída rápida de vapor residual e a expansão violenta de bolhas de vapor durante a descompressão, com riscos de destruição do material.

#### 4.5.3.1.6 Temperatura da prensa

A temperatura da prensa é uma variável básica para alcançar a densidade e espessura desejadas, já que é através dela que ocorre a cura da resina. Quando se adota baixa temperatura na prensagem de um painel, é necessário aumentar a pressão, a fim de obter maior área de contato entre as partículas de um painel. Já quando se adota a temperatura mais alta, mais rapidamente ocorre a transferência de calor da superfície para o miolo do painel, embora outros fatores possam interferir nesse processo, como a umidade das partículas e a uniformidade na sua distribuição.

Segundo Lara Palma (2003), as temperaturas nos pratos da prensa na produção de aglomerados são de 140 a 190 °C para as resinas de uréia-formol, e de 170 a 210 °C para as resinas de fenol-formaldeído. Outra relação que se estabelece é entre a temperatura da prensa e o tempo de prensagem, já que temperaturas elevadas podem reduzir o tempo de prensagem

#### 4.5.3.1.7 Gradiente vertical de densidade

Gradiente vertical de densidade é a variação existente na distribuição da densidade ao longo da espessura do painel (MATOS, 1988).

O gradiente de densidade pode ser constante ou não, dependendo da aplicação final do painel.

Diferentes fatores interferem no gradiente vertical de densidade, como o tempo de fechamento da prensa. Se o tempo de fechamento for mais rápido, a espessura do painel pode ser obtida antes que seu centro tenha atingido o aquecimento necessário para sua consolidação. Caso a velocidade de fechamento seja mais lenta, há tempo suficiente para que a temperatura aumente no centro do painel, permitindo uma distribuição uniforme da pressão e uma melhor densificação, até ser atingida a espessura desejada.

O gradiente vertical de densidade indica o comportamento do painel em relação a propriedades como tração perpendicular à superfície, resistência ao arrancamento de parafusos e flexão estática.

#### 4.5.3.1.8 Transferência de calor e umidade

Toda transferência de calor se dá por condução, convecção e por radiação. Analisando um painel, verifica-se que a transferência de calor não se dá por radiação, pois não há espaços vazios significativos para o encaminhamento do fluxo de calor. Já a transferência de calor por condução é facilitada, pois toda compactação aumenta a condutibilidade térmica. É a convecção que promove a transferência de calor em um painel, pois a umidade contribui na transferência de calor ao interior do painel.

De acordo com Matos (1988), a transmissão de calor por convecção pode ser observada como sendo um efeito do gradiente de temperatura devido ao gradiente de pressão de vapor formado. A água, na forma de vapor presente no painel, flui no sentido das áreas de menor temperatura.

Segundo Matos (1988), o gradiente de pressão de vapor, estabelecido desde a superfície ao centro, no início do ciclo de prensagem, tende a se reverter no final do processo,

mas o vapor não flui para a superfície porque o gradiente de temperatura repele essa tendência. O gradiente de pressão faz com que o vapor da água siga o caminho que apresente uma menor resistência, ou seja, no sentido das bordas do painel.

#### 4.5.4 Adesivos

Os adesivos são substâncias capazes de conservar materiais unidos pela ligação de suas superfícies.

Na adesão, há a união entre o adesivo e o substrato (superfície a ser unida) através de forças moleculares.

Muitos adesivos são polímeros reativos que mudam do estado líquido para sólido por meio de várias reações de polimerização.

Durante o processo de prensagem, os adesivos, em contato com as partículas e submetidos a determinada pressão e temperatura, passam do estado líquido para a forma sólida. Essa mudança de estado físico é a cura.

Segundo Campos e Lahr (2004), os adesivos podem ser classificados como inorgânicos e orgânicos, conforme Figura 7.

Os adesivos inorgânicos mais comuns são aqueles à base de silicatos, produzindo ligações com elevada resistência mecânica.

Os adesivos orgânicos são os mais empregados pela indústria madeireira devido à sua grande resistência à água e por não permitir a ação de microrganismos.

Os adesivos orgânicos sintéticos termofixos endurecem por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou por catalisadores e são resistentes à umidade e ao calor. Exemplos: fenol-formaldeído, resorcinol-formaldeído e os poliuretanos. Já os adesivos orgânicos sintéticos termoplásticos apresentam, como característica principal, sua cura reversível, podendo ser amolecidos quando for aumentada a temperatura e solidificar-se ao serem resfriados.

Os adesivos orgânicos naturais são obtidos de proteínas de animais e vegetais, tanino, celulose, gomas naturais e amidos, entre outros. A maior parte dos adesivos utilizáveis é sintetizada do petróleo e do benzeno.

No setor de produção de painéis, os adesivos mais utilizados são o fenol-formaldeído, uréia-formaldeído e melanina-formaldeído e, em menor escala, o resorcinol-formaldeído e difenil metano di-isocianato (MDI).

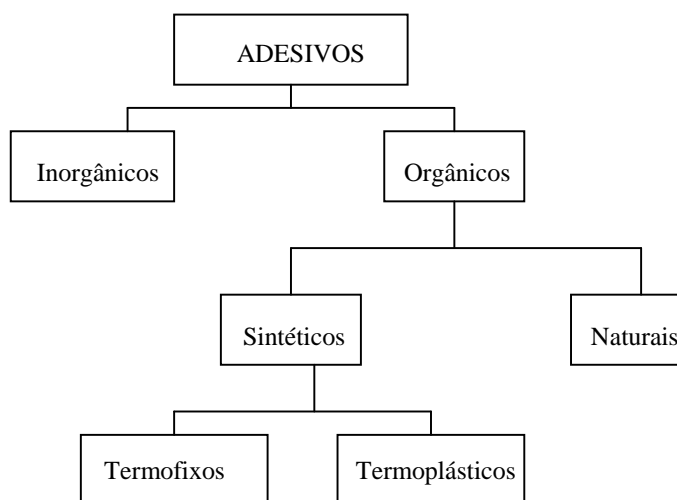


Figura 7: Classificação dos adesivos

Fonte: Dados de Campos e Lahr (2004)

Resinas uréicas são indicadas para a produção de painéis para uso interno, devido à baixa resistência à umidade. Outras características desse tipo de resina são o baixo custo, o fácil manuseio e o tempo mais rápido de cura em prensagem a quente. Resinas fenólicas são indicadas para uso externo, mas têm a cura mais lenta e requerem temperatura de prensagem maior. Resinas melaninaformaldeído têm desempenho semelhante ao das resinas fenolformaldeído, sendo, muitas vezes, misturadas para oferecer melhores resultados de resistência.

O formaldeído presente nas resinas é um gás incolor e contaminante de grande capacidade de evaporação (volatilização). O controle de emissão de formaldeído é um importante fator a ser considerado na produção de painéis, especialmente quando as empresas se preocupam com a questão ambiental. Os COV's (compostos orgânicos voláteis), entre eles o formaldeído, contribuem negativamente na formação do ozônio troposférico. São responsáveis por alergias, problemas respiratórios e por afetarem o sistema nervoso central dos seres humanos. Devido a esses efeitos negativos do formaldeído, sua emissão tem sido

controlada, com o estabelecimento de protocolos internacionais estabelecidos com a intenção de reduzi-los.

Resinas naturais à base de extratos de casca de espécies florestais têm sido investigadas, como por exemplo, o tanino de acácia negra. Segundo Hilling et al. (2002), resinas do tanino da acácia negra também estão sendo utilizadas nas indústrias de aglomerados no Brasil e na África do Sul. No Estado do Rio Grande do Sul também são produzidas e utilizadas resinas à base de tanino-formaldeído para a produção de aglomerados. Para os autores, esses adesivos estão numa posição intermediária entre as colas uréicas e fenólicas, tanto na questão do custo como na resistência à água.

Linhas especiais de resinas nacionais têm sido fabricadas especialmente para o uso em painéis de madeira, como resina uréica para MDF e aglomerado e melamínica para compensados à prova d'água. Essas resinas apresentam ganho de qualidade na fabricação de painéis e estão sendo testadas para atingirem a especificação de liberação máxima de formaldeído exigida pelos padrões europeus e norte-americanos (NOVAS ..., 2003).

Além das resinas, aditivos são utilizados na produção de painéis aglomerados. De acordo com Ribeiro (1998), os aditivos mais comumente utilizados são as ceras e parafinas que têm o objetivo de diminuir a absorção de água pela chapa pronta. Outros aditivos podem ser usados tais como retardantes de fogo e tratamentos preservativos.

O tipo de resina a ser utilizada depende da condição de uso do painel (uso interno ou uso externo). Já a quantidade de resina escolhida interfere nas propriedades físicas e mecânicas de um painel. Portanto, a escolha do tipo e quantidade de resina a ser aplicada em um painel deve considerar a relação custo-benefício, em função da finalidade de uso e resistência mínima exigida.

#### 4.6. O *Ecodesign*

Os setores industriais, além dos demais segmentos econômicos da sociedade, estão se conscientizando da importância dos *designers*, que se preocupam não somente com a estética, mas também com a funcionalidade e racionalização de espaços e de produtos. Esses profissionais são importantes para agregar valor aos produtos lançados nos mercados interno e externo, tornando-os mais competitivos.

*Designer*, de acordo com Venzke (2002), é o termo utilizado na língua inglesa, e amplamente divulgado no Brasil, para se referir ao profissional que realiza o planejamento ou concepção de um projeto ou modelo. Para o autor, a palavra *design* também implica o conceito de conforto, adequação, beleza, sendo muitas vezes confundido com estilo.

No início do século XX, o *designer* era visto como o profissional responsável pelo projeto de um produto isolado, interferindo pouco nos aspectos produtivos e parcialmente no processo de ciclo de vida de um produto. Nos meados do século, esse mesmo profissional começou a projetar sistemas de produtos, passando a considerá-los não mais como aspectos isolados de produção, mas parte integrante de um todo que incluía fatores produtivos, de uso, ambientais e de mercado (MORAES, 1997). Diante da preocupação crescente com a manutenção do equilíbrio ambiental e com o consumo energético, *designers* passaram a incorporar em seus projetos o uso de materiais renováveis, recicláveis ou os que utilizam resíduos como matéria-prima, enquadrando-se ao conceito de Ecologia Industrial.

De acordo com Ferrão e Figueiredo (2000), ecologia industrial é o “meio pelo qual a humanidade pode deliberada e racionalmente caminhar, no sentido de manter o nível de recursos disponíveis, em harmonia com uma evolução econômica, cultural e tecnológica, ajustada às suas necessidades.” Segundo Ferrão e Figueiredo (2000), um dos fundamentos da Ecologia Industrial é rejeitar o termo “desperdício”. No mundo industrial, os custos energético e ambiental associados à extração de matérias-primas são muito elevados. Assim sendo, é sensato procurar fechar os ciclos de materiais, fundamentados em estudos de avaliação de ciclos de vida dos produtos.

O conhecimento da análise de ciclo de vida de um produto é imprescindível principalmente entre aqueles que pretendem, ao lançar novos produtos no mercado, diminuir as agressões ao meio ambiente. De acordo com Baxter (2000), a análise do ciclo de vida é uma técnica analítica que se preocupa com o custo ambiental em cada estágio do ciclo de vida de um produto, fazendo uma avaliação relativa da fabricação, do transporte, uso e descarte dos produtos. A análise de ciclo de vida é a base do *ecodesign*.

Segundo Ferrão (1998), o *ecodesign* consiste em considerar os atributos ambientais como os objetivos e as oportunidades, orientando todo o processo produtivo, buscando o produto ecoeficiente. No âmbito do *ecodesign*, o projetista deve ter uma visão integrada das





Um exemplo do *ecodesign* da arquitetura brasileira é a habitação de baixo impacto ambiental projetada pelos arquitetos Gabriel Kalili e Fernando Freitas, exposta na Fehab2003 - Feira Internacional da Construção, em São Paulo (CASA..., 2003). A construção-piloto, de 100 m<sup>2</sup>, feita com madeira de reflorestamento de origem certificada, foi implantada sobre pilotis, com um mínimo de interferência no solo, na vegetação e no ciclo das águas. O eficiente uso da água existente na construção (reciclagem de água de chuva e água servida) e o uso de fontes alternativas de energia (aquecimento solar de água, painéis fotovoltaicos) são as características diferenciais do projeto. Além disso, os aparelhos hidráulicos são de baixo consumo de água e o sistema de esgoto é pré-tratado, antes da sua disposição final. Os materiais de acabamento são de origem de indústrias que desenvolvem produtos dentro do conceito de ecologia industrial.

Vocábulos como Ecoarquitetura, Arcologia (arquitetura+ecologia) ou Ecoedifício têm surgido, referenciando-se à conciliação de ecossistemas naturais e edificações.

Adam (2001) define Ecoedifício como sendo a transformação do edifício por meio da consciência ambiental. Para o autor, ética, consciência ambiental, avanço tecnológico, autosustentabilidade, eficiência energética e equilíbrio dos ecossistemas, são conceitos de planejamento, que fazem do desenho de projetos, do léxico dos projetistas, algo não só criativo, mas ecologicamente fidedigno, preciso e responsável.

O conceito de Análise de Ciclo de Vida também se incorpora na arquitetura, desde que o projeto considere os ciclos de recursos e energias em toda a existência de uma edificação (construção, consumo, demolição), e considere, particularmente, o ciclo de vida de cada material.

As etapas de uma Análise de Ciclo de Vida para uma construção sustentável são:

- inventário: em que se obtêm as informações sobre as energias e matérias-primas usadas na edificação, bem como as emissões e efluentes gerados;
- análise de impacto: em que se analisa os efeitos negativos ao meio ambiente gerados pela edificação;
- análise de melhoria: avalia as possibilidades de sanar os efeitos negativos ao meio ambiente gerados pela edificação;

- interpretação de resultados e tomada de decisões: nessa etapa, são avaliadas as etapas anteriores e aperfeiçoadas as técnicas construtivas e escolhido os materiais de construção, com o objetivo de tornar a construção sustentável.

A sociedade tem exigido uma maior demanda por produtos ecoeficientes. O MMA - Ministério do Meio Ambiente (2001), em sua pesquisa sobre produtos e empresas ecoeficientes, define produto ecoeficiente:

Produto ecoeficiente é todo artigo que, artesanal, manufaturado ou industrializado de uso pessoal, alimentar, residencial, comercial, agrícola e industrial, seja não-poluente, não-tóxico, reciclável, notadamente benéfico ao meio ambiente e à saúde, contribuindo para o desenvolvimento de um modelo econômico e social sustentável. O uso de matérias-primas naturais renováveis, obtidas de maneira sustentável, bem como o reaproveitamento e a reciclagem de matérias-primas sintéticas por processos tecnológicos limpos são os primeiros itens de classificação de um produto ecologicamente correto.

Um produto ou uma tecnologia, dentro do conceito de *ecodesign*, podem ser aceitáveis ambientalmente, corretos ambientalmente ou recomendados. Um produto ou uma técnica aceitáveis são aqueles que causam baixo nível de agressão ao meio ambiente, ou seja, produto de baixo impacto ambiental. Quando o produto ou tecnologia permitem a reciclagem, o uso de energias alternativas ou o reaproveitamento de recursos naturais são considerados ambientalmente corretos. Para serem recomendados, a geração do produto e o desenvolvimento da técnica construtiva devem utilizar matérias-primas renováveis ou reaproveitáveis. Não devem gerar a emissão de poluentes e serem obtidos com o mínimo de agressão ao meio ambiente.

Com base na classificação feita pelo Idhea - Instituto para o desenvolvimento da habitação ecológica (2004), apresenta-se, na Figura 9, os materiais de construção que são classificados segundo o uso das matérias-primas.

Ecológico é todo produto de origem natural, renovável, obtido de maneira sustentável ou com pouco consumo energético. Não necessita de co-processamento, não emite poluentes, apresenta menor quantidade de resíduos finais em seu processo de extração, fabricação e pós-consumo, como por exemplo a madeira, as fibras e resinas vegetais. Produto ecológico reaproveitado é aquele aplicado de uma nova maneira, sem que haja transformação industrial, como por exemplo, os materiais de demolição. Já os produtos compósitos reúnem matérias-primas vegetais e materiais sintéticos, como por exemplo os painéis feitos de plástico com pó de serra ou fibras.

Os produtos reciclados recuperam e beneficiam resíduos por meio de processo industrial, visando obter novos produtos com características semelhantes às do material original ou não. Os produtos reciclados pré-consumo são recolhidos no local de produção e são novamente transformados no mesmo produto ou em outro, sem ter chegado ao mercado ou ao consumidor final. Já os produtos reciclados pós-consumo são obtidos após o consumo e para serem reciclados necessitam ser coletados, separados, esterilizados.

Os produtos de baixo impacto são de origem renovável, obtidos sem agredir o meio ambiente, a saúde humana e a comunidade. Para produzi-los, gera-se baixo consumo energético ou baixa emissão de poluentes.

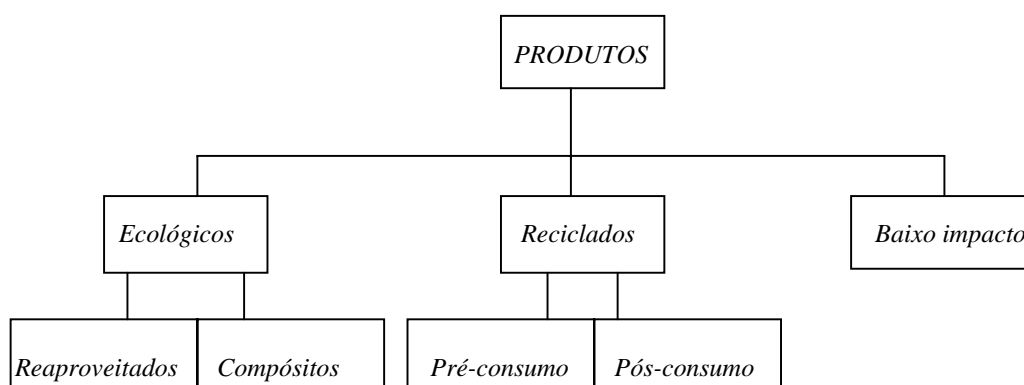


Figura 9: Classificação dos materiais de construção em relação às matérias-primas  
Fonte: Dados do Idhea (2004)

A preocupação com o uso sustentável dos recursos naturais e com a racionalização energética tem levado à mudança de paradigmas na arquitetura e na engenharia. Na Tabela 7, apresentam-se propostas de materiais de construção e técnicas construtivas economicamente mais atraentes, criativas e sustentáveis.

Tabela 7: Elementos arquitetônicos ecoeficientes nas diferentes etapas construtivas

Etapa construtiva	Materiais
Locação	Pontaletes de plástico ou de madeira certificada
Superestrutura	Fôrmas para concreto de madeira certificada ou de material retornável de aço ou plástico
Alvenaria/massa	Areia proveniente de entulho de construção para concreto não-estrutural
Alvenaria/fechamento	Tijolo de solo-cimento, produzido com terra crua, sem cozimento
	Tijolo de adobe
	Blocos cerâmicos com fibras celulósicas (pó de carvão, argila e resíduo de papel)
	Bloco de concreto reciclado feito de areia de fundição reciclada, sem uso estrutural
Reboco	Agregado de cimento com pó de serra com revestimento termo-acústico para reboco
Isolante	Painéis de cimento e casca de arroz, para fechamento de parede e isolante termo-acústico
Estruturas	Madeira de reflorestamento
	Bambu
	Cobertura natural (vegetação sobre laje)
	Telha fibro-asfáltica, feitas a partir de papelão reciclado e impermeabilizado com asfalto
Esquadrias	Madeira de reflorestamento ou não difundidas
Piso	Madeira de reflorestamento ou não difundidas
	Ladrilho hidráulico (cimento Portland, pó de mármore, cimento branco)
	Placas cerâmicas de minerais naturais e reaproveitáveis
	Piso de borracha de sobra de pneus com resina à base de poliuretano
	Carpete natural (sisal com base de feltro de juta)
Telhas	Telhas onduladas de embalagens longa vida ou de polietileno com tubo de pasta de dente
	Telhas de betume e fibras vegetais
Elétrica	Conduítes corrugados reciclados de embalagens de agrotóxicos
	Lâmpadas fluorescentes com sensor de presença
Hidráulica	Trituradores de pia ou de áreas externas
	Tubos e conexões de plástico atóxico ou de PET reciclado
	Mecanismos para regular descargas
	Sistemas modulares de tratamento de esgoto para uso da água para funções secundárias
	Sistemas de captação de água de chuva
Tintas	Produtos sem COV's (compostos orgânicos voláteis)
	Tintas e vernizes à base de água
	Tintas sem solventes
	Preservantes de madeira à base de sais de boro
Energias renováveis	Sistema de aquecimento solar
	Painéis fotovoltaicos
Diversos	Cimento CPIII (escória de alto-forno) de uso geral, exceto fabricação de pré-moldados
	Cimento pozolânico (resíduos de siderúrgicas ou termelétricas)

Dados do Idhea (2004)

Ao substituir matérias-primas não-renováveis pelas renováveis ou ao utilizar produtos residuais como matéria-prima para criar materiais alternativos de construção, deve-se considerar parâmetros técnicos. Segundo Freire e Beraldo (2003), o sistema de avaliação proposto para as inovações tecnológicas, pelo Ministério do Orçamento e Gestão, Caixa Econômica Federal e o Instituto Brasileiro de Tecnologia e Qualidade da Construção devem considerar: custo, segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade, durabilidade e manutenção, desempenho térmico e acústico e adequação do projeto e gestão de qualidade.

Para criar, aperfeiçoar ou inserir produtos no mercado que atendam aos fatores ecológico e energético, é necessário se basear em normas técnicas existentes ou semelhantes. Para isso, o INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, e a ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, têm ampliado o rol de normas técnicas para produtos de caráter ecológico.

Toda nova técnica ou material ecoeficiente em construção deve cumprir funções como:

- atender à necessidade do usuário;
- utilizar mão-de-obra local e materiais da região para a construção;
- valorizar as tradições da comunidade e estilo arquitetônico da região;
- ser um material ou técnica simples que permitam a participação criativa dos usuários e construtores;
- não contaminar o ambiente ou provocar o desaparecimento de materiais naturais;
- melhorar o aspecto da edificação e do meio ambiente.

A revisão de literatura permitiu constatar a originalidade e coerência do presente trabalho. Das informações obtidas em trabalhos semelhantes, desenvolveu-se uma metodologia própria, adequando-se normas de produção de painéis de madeira para painéis feitos a partir de resíduos.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1 Matérias-primas

Neste trabalho foram empregados diferentes resíduos sólidos do tipo agroindustrial, industrial e domiciliar na confecção de painéis para serem utilizados como elemento arquitetônico.

#### 5.1.1 Resíduos Agroindustriais

Os resíduos agroindustriais utilizados foram a casca de arroz (Figura 10-a) coletada na Fazenda Experimental da Unesp, localizada no município de São Manuel-SP, e a casca de amendoim (Figura 10-b), fornecida pela Indústria Amendoceres, localizada no município de São Paulo-SP .



a) Casca de arroz



b) Casca de amendoim

Figura 10: Resíduos Agroindustriais

### 5.1.2 Resíduo Industrial

O resíduo industrial utilizado constitui-se de aparas de embalagens plásticas para alimentos da indústria Cryovac (Figura 11), localizada no município de São Paulo-SP. Essas aparas se constituem basicamente de polietileno de baixa densidade (PEBD).



Figura 11: Aparas de embalagens plásticas

### 5.1.3 Resíduo Domiciliar

O resíduo domiciliar utilizado foi a embalagem multilaminada pós-consumo, também conhecida como embalagem longa vida (Figura 12). Esse material foi obtido pela coleta domiciliar no município de São Manuel-SP. As embalagens, após coleta, foram abertas, lavadas com água e secas ao ar livre.



Figura.12: Embalagens multilaminadas pós-consumo



## 5.2 Determinação da densidade aparente e do teor de umidade das partículas

A densidade aparente das partículas foi determinada segundo a norma SCAN-CM 46 (1996), utilizada para resíduos sólidos agroindustriais. A densidade aparente foi calculada a partir da seguinte expressão:

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

onde:

$d$ : densidade aparente, em grama por centímetro cúbico;

$m$ : massa de material seco, em gramas;

$v$ : volume de material seco, em centímetros cúbicos.

Para verificação do teor de umidade, utilizou-se o medidor de umidade Denver Instrument IR-200.

## 5.3 Confecção do painel

### 5.3.1 Delineamento experimental

Os painéis foram feitos combinando-se as matrizes e reforços, em diferentes proporções (Tabela 8). Dessas combinações resultaram 18 tratamentos descritos na Tabela 9

As variáveis do processo de operação foram iguais para todos os tratamentos e foram definidas em ensaio piloto. Através desse ensaio testou-se diferentes temperaturas de prensagem (130°C, 150°C e 180°C). Com 130°C, os tratamentos que tinham as embalagens plásticas como elemento matricial não se fundiam ao elemento estrutural. Já com a temperatura de 180°C, os painéis apresentavam sinais de queima do material. Assim sendo, escolheu-se a temperatura de 150°C.

Testou-se tempos de prensagem de 4 e 8 minutos, obtendo-se para ambos a conformação do painel. Escolheu-se o menor tempo de prensagem por representar um menor consumo energético. Escolheu-se a pressão de prensagem de 15,5 kgf/cm<sup>2</sup>.

Tabela 8: Delineamento Experimental

Variáveis	
Matriz (elemento matricial)	1. Embalagens multilaminadas pós consumo 2. Embalagens plásticas
Carga de Reforço (elemento estrutural)	1. Casca de arroz 2. Casca de amendoim
Proporção Matriz/Reforço (%)	1. 40/60 2. 50/50 3. 60/40 4. 20(1)/20(2)/60 5. 25(1)/25(2)/50 6. 30(1)/30(2)/40
Repetições	3
Temperatura de Prensagem	150°C
Tempo de Prensagem	4 minutos
Pressão de Prensagem	15,5 kgf/cm <sup>2</sup>

Tabela 9: Composição dos 18 tratamentos

Tratamentos	Cód.	Composição
EM40AR60	1	40% de embalagem multilaminada e 60% de casca de arroz
EM50AR50	2	50% de embalagem multilaminada e 50% de casca de arroz
EM60AR40	3	60% de embalagem multilaminada e 40% de casca de arroz
EP40AR60	4	40% de embalagem plástica e 60% de casca de arroz
EP50AR50	5	50% de embalagem plástica e 50% de casca de arroz
EP60AR40	6	60% de embalagem plástica e 40% de casca de arroz
EM20EP20AR60	7	20% de embalagem multilaminada, 20% de embalagem plástica e 60% de casca de arroz
EM25EP25AR50	8	25% de embalagem multilaminada, 25% de embalagem plástica e 50% de casca de arroz
EM30EP30AR40	9	30% de embalagem multilaminada, 30% de embalagem plástica e 40% de casca de arroz
EM40AM60	10	40% de embalagem multilaminada e 60% de casca de amendoim
EM50AM50	11	50% de embalagem multilaminada e 50% de casca de amendoim
EM60AM40	12	60% de embalagem multilaminada e 40% de casca de amendoim
EP40AM60	13	40% de embalagem plástica e 60% de casca de amendoim
EP50AM50	14	50% de embalagem plástica e 50% de casca de amendoim
EP60AM40	15	60% de embalagem plástica e 40% de casca de amendoim
EM20EP20AM60	16	20% de embalagem multilaminada, 20% de embalagem plástica e 60% de casca de amendoim
EM25EP25AM50	17	25% de embalagem multilaminada, 25% de embalagem plástica e 50% de casca de amendoim
EM30EP30AM40	18	30% de embalagem multilaminada, 30% de embalagem plástica e 40% de casca de amendoim

### 5.3.2 Procedimento experimental

A confecção dos painéis foi desenvolvida no Laboratório de Resíduos e Compósitos da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP.

A densidade nominal almejada para o painel confeccionado foi definida em 0,90 g/cm<sup>3</sup>. As dimensões do painel foram definidas em 35 cm x 35 cm x 1 cm de comprimento, largura e espessura, respectivamente.

Para obter as partículas das matérias-primas para produção de painéis, utilizou-se um moinho granulador horizontal SEIBT, modelo 6/230. A casca de amendoim, as embalagens plásticas e as embalagens multilaminadas foram moídas. A casca de arroz não foi moída.

Após a moagem, os resíduos, com exceção das embalagens plásticas, foram secos em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 105±3 °C, até obter uma umidade média de aproximadamente 5%.

Os painéis foram confeccionados em uma prensa hidráulica de laboratório OMECO (Figura 13), com fechamento simples e dois pratos com dimensões de 60 cm x 60 cm. Antes do início da prensagem de cada painel, os resíduos foram pesados separadamente em balança digital de sensibilidade de 0,01g.



Figura 13: Vista parcial da prensa

Após a pesagem, homogeneizaram-se as matérias-primas por agitação e retirou-se uma amostra das partículas para verificação do teor de umidade, utilizando-se o medidor de umidade Denver Instrument IR-200.

Para montagem do colchão, utilizou-se uma caixa formadora confeccionada em madeira com as seguintes dimensões: 35 cm x 35 cm x 25 cm, compatíveis com os pratos da prensa. Essa caixa foi apoiada sobre uma chapa de alumínio e, sobre ela, foi colocada uma folha de acetato, para impedir a aderência dos resíduos nos pratos da prensa, conforme mostra a Figura 14. Após a homogeneização dos resíduos, estes foram distribuídos aleatoriamente dentro da caixa de madeira. A conformação inicial do colchão foi feita por meio de pressão manual exercida sobre a tampa na caixa de madeira no colchão, seguida pela retirada da caixa.



Figura 14: Caixa formadora do painel

Após a retirada da tampa e da caixa de madeira outra folha de acetato foi colocada na face superior do colchão pré-moldado (Figura 15), seguido pela colocação de outra chapa de alumínio (Figura 16), estando assim o colchão pronto para ser encaminhado à prensagem.



Figura 15: Colchão pré-moldado



Figura 16: Colchão finalizado

Na prensa, juntamente com o colchão pré-moldado, foram colocados dois espaçadores metálicos de 1,00 cm de espessura, com a função de limitar a espessura do painel no momento final da prensagem. Ao término da prensagem, a abertura da prensa foi realizada automaticamente. Após a retirada da prensa, o painel foi submetido a um carregamento por meio de uma chapa de ferro de 20 kgf e com dimensões de 41 cm x 41 cm x 2 cm, durante 15 minutos. A razão para esse carregamento é evitar o efeito “spring back”, ou seja, a volta do colchão as condições iniciais antes da prensagem.

A Figura 17 apresenta o aspecto final do painel após a prensagem. Após o resfriamento em temperatura ambiente, o painel foi preparado nas dimensões definitivas (35 cm x 35 cm) para estudos físicos e mecânicos (Figura 18). Os corpos-de-prova foram condicionados em uma sala com ar condicionado e com desumidificador mecânico, até peso constante, sendo, posteriormente destinados aos ensaios previstos.



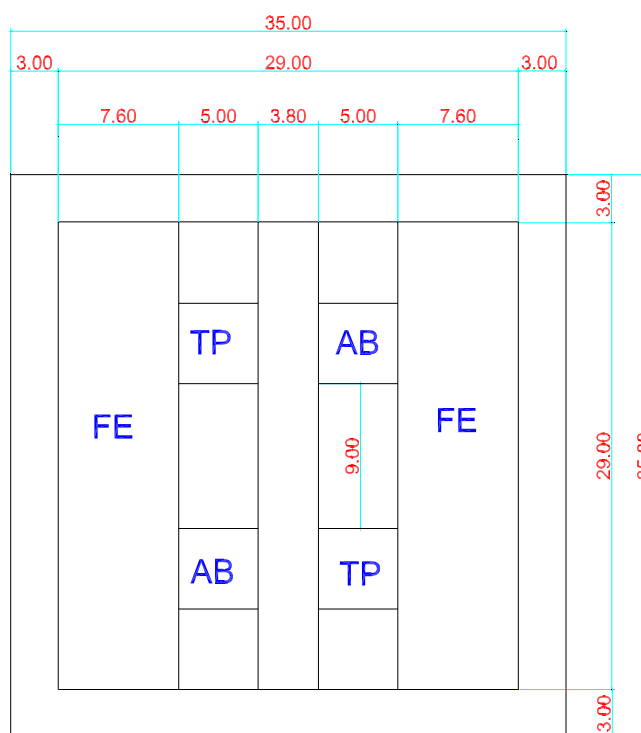
Figura 17: Painel após esfriamento inicial    Figura 18: Painel pronto para ser mapeado

#### 5.4 Ensaios físicos e mecânicos

Para análise das propriedades físicas e mecânicas dos painéis, empregou-se como referência a norma ASTM D1037/96 (ASTM, 1996) e a norma EN 317/93 (EN, 1993), utilizadas para chapas de partículas. Seus usos se justificam pela semelhança do produto desenvolvido nesta pesquisa com uma chapa de partículas.

Para a análise das propriedades físicas e mecânicas e do uso recomendado para o material produzido, recorreu-se à norma ANSI A208-1 (ANSI, 1993), também utilizada para chapas de partículas.

Os ensaios físicos e mecânicos foram realizados no Laboratório de Ensaios de Materiais do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP. As propriedades estudadas foram: densidade, teor de umidade, inchamento em espessura, absorção de água, flexão estática e tração perpendicular à superfície do painel. Os corpos-de-prova necessários para os ensaios foram extraídos obedecendo ao mapeamento da Figura 19. Essa figura ilustra as dimensões (em centímetros), localização e identificação dos corpos-de-prova.



FE= corpos-de-prova para ensaios de flexão estática  
 TP= corpos-de-prova para ensaios de tração perpendicular à superfície  
 AB= corpos-de-prova para ensaios físicos

Figura 19: Mapeamento do painel

#### 5.4.1 Ensaios físicos

Para cada tratamento, foram retirados seis corpos-de-prova (AB) indicados na Figura 19, com dimensões (comprimento, largura e espessura) de 5,00 cm x 5,00 cm x 1,00 cm, de acordo com a norma EN 317/93. Esses corpos-de-prova (Figura 20) foram submetidos aos ensaios físicos (densidade, teor de umidade, inchamento em espessura, absorção de água).



Figura 20: Corpos-de-prova dos ensaios físicos

Para medição do comprimento e da largura, utilizou-se um paquímetro digital STARRETT, 727 ME-6"/150 mm, com sensibilidade de 0,01 mm. Para a medição da espessura, utilizou-se um micrômetro digital MICROMASTER 85161302-0-30 mm/0-1,2 in, com sensibilidade de 0,001 mm.

A determinação da densidade foi realizada a partir da massa inicial dos corpos-de-prova, expressa pela seguinte relação:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

onde:

$\rho$ : densidade (g/cm<sup>3</sup>);

$m$ : massa inicial do corpo-de-prova (g);

$v$ : volume (cm<sup>3</sup>).

Para o ensaio de inchamento em espessura, os corpos-de-prova foram saturados em água destilada a 20 °C, por 2 horas. Após esse período, os corpos-de-prova foram retirados da água e mantidos na posição vertical para secagem superficial e, na sequência, foram pesados e medidos (em quatro pontos diferentes do corpo-de-prova). O inchamento em espessura, após 2 horas de imersão, foi calculado segundo a relação:

$$I_{2h} = \left[ \frac{e_2 - e_1}{e_1} \right] * 100 \quad (3)$$

onde:

$I_{2h}$ : inchamento dos corpos-de-prova após 2 horas de imersão (%);

$e_1$ : espessura inicial dos corpos-de-prova acondicionados, antes da imersão (mm);

$e_2$ : espessura dos corpos-de-prova após 2 horas de imersão (mm).

Para o ensaio de absorção de água, determinou-se a massa dos corpos-de-prova antes e após as 2 horas de imersão em água, expressa pela seguinte relação:

$$A_{2h} = \left[ \frac{m_2 - m_1}{m_1} \right] * 100 \quad (4)$$

onde:

$A_{2h}$  : absorção, após 2 horas de imersão (%);

$m_1$  : massa inicial dos corpos-de-prova (g);

$m_2$ : massa dos corpos-de-prova, após 2 horas de imersão (g).

Para a determinação do inchamento em espessura e da absorção após 24 horas de imersão, os corpos-de-prova foram retirados da água ao final desse período e mantidos na posição vertical para secagem superficial e, na sequência, foram pesados e medidos. O inchamento em espessura após 24 horas de submersão foi calculado pela seguinte relação:



$$I_{24h} = \left[ \frac{e_2 - e_1}{e_1} \right] * 100 \quad (5)$$

onde:

$I_{24h}$ : inchamento dos corpos-de-prova, após 24 horas de imersão(%);

$e_1$ : espessura inicial dos corpos-de-prova acondicionados, antes da imersão (mm);

$e_2$ : espessura dos corpos-de-prova, após 24 horas de imersão (mm).

Para o ensaio de absorção de água após 24 horas de imersão, utilizou-se a seguinte relação:

$$A_{24h} = \left[ \frac{m_2 - m_1}{m_1} \right] * 100 \quad (6)$$

onde:

$A_{24h}$ : absorção após 24 horas de imersão (%);

$m_1$ : massa inicial dos corpos-de-prova (g);

$m_2$ : massa dos corpos-de-prova, após 24 horas de imersão (g).

Em seguida, secou-se os corpos de prova em estufa com circulação de ar à temperatura de  $105 \pm 1$  °C , até atingir massa seca constante.

O teor de umidade foi determinado pela expressão:

$$U = \left[ \frac{m_u - m_s}{m_s} \right] * 100 \quad (7)$$

onde:

$U$ : umidade dos corpos-de-prova (%);

$m_u$ : massa úmida (g);

$m_s$ : massa seca, em grama.

#### 5.4.2 Ensaaios mecânicos

Para cada tratamento, retiraram-se seis corpos-de-prova para o ensaio de flexão estática (FE) e seis corpos-de-prova para o ensaio de tração perpendicular à superfície (TP), indicados no mapeamento da Figura 19 e nas Figuras 21(a) e 21(b).



a) corpos-de-prova para ensaio de flexão estática



b) corpos-de-prova para ensaio de tração perpendicular à superfície

Figura 21: Corpos-de-prova dos ensaios mecânicos

O ensaio de flexão foi realizada de acordo com a norma ASTM D1037/96 (ASTM, 1996). Com base na referida norma, os corpos-de-prova foram confeccionados com 1,0 cm de espessura, 7,6 cm de largura e 29,0 cm de comprimento (Figura 21-a).

Os ensaios de flexão foram realizados em uma Máquina Universal de Ensaios Servo-controlada EMIC DL-10.000 MF (Figura 22), com uma velocidade de deslocamento da travessa da máquina de 6 mm/min.



Figura 22: Ensaio de flexão estática

A partir do ensaio de flexão estática, obtiveram-se os valores de MOE (módulo de elasticidade) e MOR (módulo de ruptura), que são dados pelas equações (8) e (9) respectivamente:

$$MOE = \frac{P * l^3}{48 * f * I} \quad (8)$$

onde:

$P$ : carga (MPa);

$l$ : distância entre apoios (mm);

$f$ : deformação (mm)

$I$ : momento de inércia (para seções retangulares  $I=b.h^3/12$ )

onde  $b$  é a largura e  $h$  é a espessura do corpo-de-prova.

$$MOR = \frac{1,5 * P * l}{b * h^2} \quad (9)$$

onde:

$P$ : força de ruptura (N);

$l$ : distância entre apoios (mm);

$b$ : largura do corpo-de-prova (mm);

$h$ : espessura do corpo-de-prova (mm).

Para o ensaio de tração perpendicular à superfície, tomou-se por referência a norma ASTM D1037/96 (ASTM,1996). Pela norma, o corpo-de-prova quadrado deve ter 5,00 cm de lado (Figura 21-b). Os corpos-de-prova foram fixados em suportes de madeira e colados com adesivo.

O ensaio de tração perpendicular à superfície, cujo objetivo é determinar a resistência à ligação interna das partículas, foi realizado na Máquina Universal de Ensaio Servo-controlada EMIC DL-10.000 MF, com uma velocidade de deslocamento da travessa da máquina de 0,84 mm/min, conforme ilustra a Figura 23.

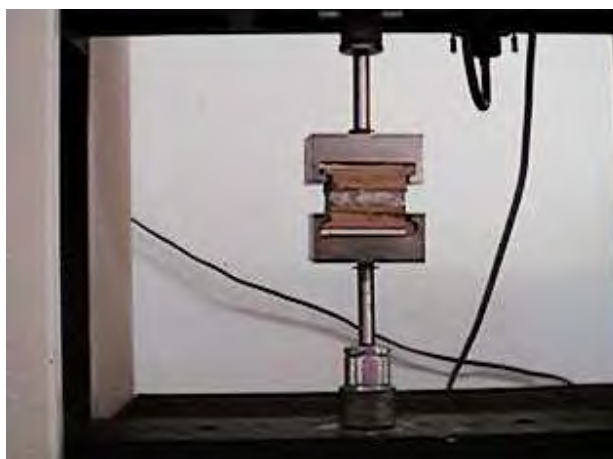


Figura 23: Ensaio de tração perpendicular à superfície

### 5.5 Ensaio complementares

Ensaio complementares foram realizados a fim de obter uma caracterização mais aprofundada dos painéis. Para isso, novos painéis foram produzidos, obedecendo às mesmas

variáveis. Esses novos painéis foram feitos com apenas dois tratamentos, considerados os melhores estatisticamente.

Os ensaios foram realizados face à necessidade de compreensão do comportamento dos painéis, mesmo assim, não se deixou de seguir normas técnicas análogas às da produção de painéis convencionais. Os ensaios complementares realizados foram: densidade, módulo de elasticidade (MOE), dimensão em tamanho das partículas, perfil de densidade e exposição ao intemperismo artificial.

Adotou-se, como referência para o ensaio de densidade e módulo de elasticidade, a norma ASTM D1037/96 (ASTM, 1996) e a norma EN 317/93 (EN, 1993), utilizadas para chapas de partículas.

Para analisar as possibilidades de uso para o material produzido, empregou-se a norma ANSI A208-1 (ANSI, 1993), também utilizada para chapas de partículas.

Para o ensaio de dimensão em tamanho das partículas foi utilizada a norma da ABNT - NBR 7217 (ABNT, 1987). O ensaio foi realizado no Laboratório de Construção Civil da Faculdade de Engenharia da UNESP-Bauru.

O ensaio de perfil de densidade foi realizado na indústria de painéis Duratex, unidade fabril da cidade de Agudos-SP, no Centro de Controle da Qualidade.

Para a realização do ensaio de exposição ao intemperismo artificial utilizou-se a norma ASTM D 2565 (ASTM, 1999). O ensaio foi realizado pelo Laboratório de Plásticos e Borrachas do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), no município de São Paulo.

#### 5.5.1 Densidade

Foi feita reavaliação do ensaio de densidade em dois tratamentos estudados no item 5.4, considerados estatisticamente, os melhores. Foram confeccionados três painéis de cada um dos dois tratamentos. De cada painel, foram tomados quarenta e nove corpos-de-prova, nas dimensões (comprimento, largura e espessura) de 5 cm x 5 cm x 1 cm, proporcionando um aproveitamento total do painel.

Para cada corpo-de-prova, foi calculada a densidade com base na equação (2) do item 5.4.1. A identificação dos corpos-de-prova desse ensaio obedeceu ao delineamento da Figura 24, com dimensões em centímetros .

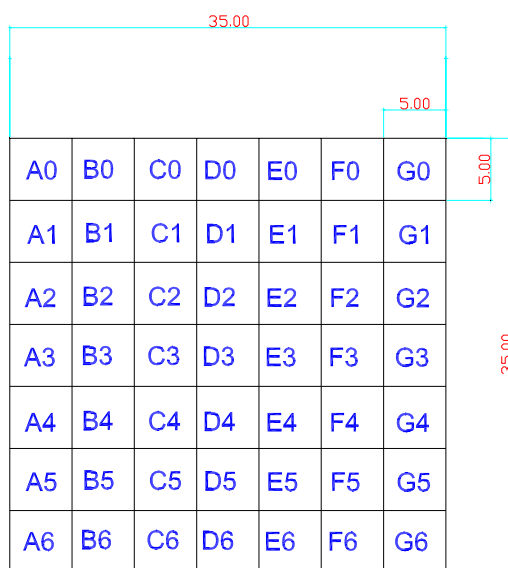


Figura 24: Mapeamento para ensaio de densidade

No estudo dos 18 tratamentos, as limitações das dimensões da prensa não permitiram a retirada de corpos-de-prova em diferentes pontos do painel, o que impediu comprovar que os pontos extremos do painel apresentam sempre uma densidade menor. Com um maior número de corpos-de-prova, obtidos com a repetição do ensaio de densidade, foi possível mapear os pontos de maior e menor densidade no painel.

### 5.5.2 Módulo de elasticidade (MOE)

Para realizar esse ensaio, confeccionaram-se 10 painéis de dois tratamentos avaliados no item 5.4, considerados estatisticamente os melhores, ou seja, os mesmos tratamentos reavaliados pelo ensaio de densidade. Cada painel foi aproveitado integralmente, resultando em 5 corpos-de-prova, nas dimensões (largura, comprimento e espessura) de 7 cm x 35 cm x 1 cm (Figura 25). A largura de 7 cm foi adotada para obter um aproveitamento integral do painel. Pela norma ASTM D1037/96 (ASTM, 1996) a exigência da largura do corpo-de-prova é de 7,6 cm.



Figura 25: Corpos-de-prova para ensaio de flexão estática

Para o ensaio de flexão, seguiu-se o mesmo procedimento do item 5.4.2. O ensaio de flexão estática forneceu os valores de MOE (módulo de elasticidade) que são dados pela equação (8) do item 5.4.2.

### 5.5.3 Distribuição em tamanho das partículas

A distribuição em tamanho das partículas foi determinada utilizando-se as partículas de casca de arroz.

Empregou-se, no presente ensaio, peneiras com as seguintes aberturas: 6,30 mm, 4,80 mm, 3,36 mm, 2,40 mm, 2,00 mm, 0,60 mm, 0,42 mm e 0,25 mm, utilizando uma amostra de 30 g de material.

Da distribuição em tamanho das partículas foram obtidos o módulo de finura e a dimensão máxima da partículas. O módulo de finura é dado pela expressão:

$$MF = \frac{\sum PRA}{100} \quad (10)$$

onde:

MF: módulo de finura

PRA: porcentagem retida acumulada (%).

A dimensão máxima, por definição, é dada pela abertura da peneira que apresenta o maior valor de porcentagem retida acumulada não superior a 5%.

#### 5.5.4 Perfil de densidade

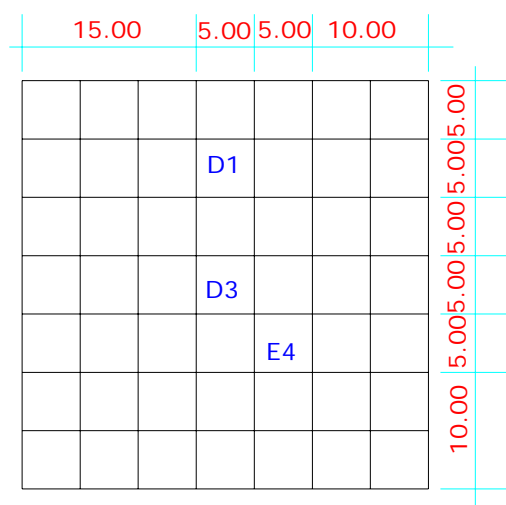
O gradiente vertical de densidade é avaliado no ensaio de perfil de densidade. Por esse ensaio avaliou-se a ocorrência de heterogeneidade de compactação na direção vertical (ao longo da espessura) de um painel.

Para essa análise, submeteram-se seis corpos-de-prova de dois dos dezoito tratamentos estudados no item 5.4, com as dimensões (comprimento, largura e espessura) de 5 cm x 5 cm x 1 cm, considerados estatisticamente os melhores.

Escolheu-se uma amostra de cada um desses painéis, resultando em seis corpos-de-prova, cujo posicionamento é apresentado na Figura 26, com as dimensões apresentadas em centímetros.

A Figura 27 apresenta o momento da realização do ensaio de perfil de densidade. Após a determinação da massa de cada um dos corpos-de-prova, estes foram colocados na câmara do equipamento de raio gama, com processo micro-controlado.





D1= corpos-de-prova retirados dos dois melhores tratamentos (1.<sup>a</sup> repetição)  
D3= corpos-de-prova retirados dos dois melhores tratamentos (2.<sup>a</sup> repetição)  
E4= corpos-de-prova retirados dos dois melhores tratamentos (3.<sup>a</sup> repetição)

Figura 26: Posição dos corpos-de-prova nos painéis para ensaio de perfil de densidade



Figura 27: Ensaio de perfil de densidade

### 5.5.5 Exposição ao intemperismo artificial

A degradação de um material pode limitar sua utilização, já que ele pode se desgastar antes do tempo previsto ou antes do final da garantia do fabricante. Avaliou-se o

envelhecimento acelerado do material produzido no presente estudo utilizando o ensaio de exposição do material ao intemperismo artificial.

Para realizar esse ensaio, confeccionou-se 3 corpos-de-prova do tratamento considerado o melhor estatisticamente, avaliados no item 5.4. Cada corpo-de-prova apresentou as seguintes dimensões (comprimento, largura e espessura): 15 cm x 6,5 cm x 0,3 cm (Figura 28), sendo que um desses corpos-de-prova foram mantidos como referência.

Durante 720 horas dois corpos-de-prova foram mantidos em um aparelho de intemperismo (modelo 65WRC) WOM-001. O equipamento possui uma lâmpada de arco-xenônio de 6500W, com filtro interno e externo de borossilicato, com radiação similar à luz natural. A temperatura obtida no corpo-negro foi de  $63 \pm 3$  °C. A condição de exposição foi a seguinte: ciclos de 2 horas com 102 minutos de luz e 18 minutos com luz e aspersão de água.

Nessas condições o equipamento utilizado pode simular as condições de um clima natural, de maneira controlada e reproduzível. O resultado final do ensaio foi avaliado a olho nu, em relação ao corpo-de-prova original, mantido como referência.



Figura 28: Corpos-de-prova do ensaio de exposição ao intemperismo artificial

## 5.6 Análise estatística

Na avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis do item 5.4 foi, desenvolvida a análise de variância ANOVA, complementada pelo teste Tukey, para comparação das médias.

Após a escolha dos melhores tratamentos, foram realizados ensaios complementares relevantes para caracterização dos painéis. Alguns desses ensaios não puderam ser analisados estatisticamente por não apresentarem um número significativo de amostras.

Os efeitos do módulo de elasticidade, ao serem reavaliados, foram observados através da regressão linear simples e também foi desenvolvida a análise de variância ANOVA, complementada pelo teste Tukey para amostras de um mesmo tratamento.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na discussão dos resultados foram utilizados códigos para facilitar a interpretação dos tratamentos efetuados. As primeiras letras (EM ou EP) indicam o tipo de embalagem utilizada como matriz.

Os números determinam a porcentagem de matriz utilizada (40, 50 ou 60). As últimas letras (AR ou AM) demonstram o tipo de resíduo agroindustrial utilizado (carga de reforço). Os últimos números indicam a porcentagem proporcional de carga de reforço utilizada (40, 50 e 60).

Para maior facilidade na interpretação dos resultados, desenvolveu-se a seguinte codificação:

EM = embalagem multilaminada;

EP = embalagem plástica;

AR = casca de arroz ;

AM = casca de amendoim.

Assim, por exemplo, o tratamento EM40AR60 refere-se a um painel produzido com 40% (em peso) de embalagem multilaminada e 60% (em peso) de casca de arroz. Já o

tratamento EM30EP30AM40 refere-se a um painel produzido com 30% (em peso) de embalagem multilaminada, 30% (em peso) de embalagem plástica e 40% (em peso) de casca de amendoim.

## 6.1 Ensaios gerais (18 tratamentos)

### 6.1.1 Densidade aparente e teor de umidade das partículas

Os estudos iniciais referentes às partículas empregadas na confecção dos painéis são resumidos na Tabela 10 e delineados no Apêndice 1.

Tabela 10: Resultados do estudo das partículas

Propriedades avaliadas	AR	AM	EM	EP
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,17	0,20	0,09	0,06
Teor de umidade (%)	10,19	10,18	3,42	0,64
Teor de umidade após 24 horas de secagem em estufa (%)	5,57	6,60	2,07	
Dimensão máxima do comprimento das partículas (mm)				

O Apêndice 2 apresenta o teor de umidade de amostras retiradas do colchão de cada tratamento após secagem em estufa e homogeneização das matérias-primas.

### 6.1.2 Painéis - propriedades físicas

A análise de variância dos tratamentos, referentes às propriedades físicas, encontram-se no Apêndice 3.

No Apêndice 4 estão registrados os valores obtidos no estudo das propriedades físicas dos painéis referentes à densidade, teor de umidade, ao inchamento após 2 e 24 horas de imersão, à absorção de água, após 2 e 24 horas de imersão.

Na Tabela 11 estão listados os valores médios de teor de umidade e de densidade para cada tratamento.

Tabela 11: Valores médios de teor de umidade e de densidade

Tratamento	Cód.	Teor de umidade (%)	Desvio Padrão	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Desvio Padrão
EM40AR60	1	6,95 <b>abc</b>	2,07	0,71 <b>a</b>	0,17
EM50AR50	2	7,67 <b>abc</b>	4,69	0,75 <b>a</b>	0,09
EM60AR40	3	7,81 <b>abc</b>	3,69	0,73 <b>a</b>	0,07
EP40AR60	4	5,85 <b>abc</b>	3,76	0,69 <b>a</b>	0,11
EP50AR50	5	3,79 <b>c</b>	0,73	0,71 <b>a</b>	0,07
EP60AR40	6	3,39 <b>c</b>	0,44	0,74 <b>a</b>	0,04
EM20EP20AR60	7	5,75 <b>abc</b>	0,67	0,79 <b>a</b>	0,05
EM25EP25AR50	8	5,00 <b>bc</b>	0,53	0,76 <b>a</b>	0,12
EM30EP30AR40	9	4,56 <b>bc</b>	0,28	0,74 <b>a</b>	0,08
EM40AM60	10	11,66 <b>a</b>	3,68	0,66 <b>a</b>	0,03
EM50AM50	11	9,07 <b>abc</b>	3,48	0,68 <b>a</b>	0,09
EM60AM40	12	9,12 <b>abc</b>	2,76	0,76 <b>a</b>	0,03
EP40AM60	13	7,16 <b>abc</b>	4,14	0,67 <b>a</b>	0,09
EP50AM50	14	5,36 <b>abc</b>	0,85	0,73 <b>a</b>	0,09
EP60AM40	15	5,58 <b>abc</b>	4,53	0,67 <b>a</b>	0,09
EM20EP20AM60	16	8,48 <b>abc</b>	2,00	0,69 <b>a</b>	0,10
EM25EP25AM50	17	11,08 <b>ab</b>	6,95	0,72 <b>a</b>	0,14
EM30EP30AM40	18	5,48 <b>abc</b>	0,98	0,75 <b>a</b>	0,11

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferença estatística, com nível de significância de 5%.

Os teores de umidade dos corpos-de-prova indicam valores médios entre 3,39 a 11,66%. Os tratamentos 5 e 6 apresentaram os melhores resultados de teor de umidade, embora só apresentassem diferença significativa dos tratamentos 17 e 10, sendo que este último apresentou o pior resultado de teor de umidade.

Os melhores resultados para os tratamentos 5 e 6 foram esperados face à presença de 50% e 60% de plástico, respectivamente. A camada cerosa que envolve a casca de arroz interferiu nos melhores resultados de teor de umidade.

Os valores obtidos para densidade não apresentaram diferença significativa. Pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993), os valores médios de densidade obtidos, ou seja, de 0,66 a 0,79 g/cm<sup>3</sup>, classificam todos os tratamentos como painéis de média densidade, destinados ao uso comercial ou industrial (Tabela 14). Embora estejam com os valores enquadrados na norma, os painéis apresentaram valores inferiores ao valor desejado de 0,90 g/cm<sup>3</sup>.

Constatou-se que, durante a prensagem, houve a perda de material do colchão, pelas bordas e antes de ser mapeado o painel foi enquadrado nas dimensões de 35 cm x 35 cm. Assim sendo, a parte do material que escapou no momento da prensagem fez com que a densidade almejada fosse alterada. Painéis produzidos por Eleotério (2000) também apresentaram resultados de densidade menor que o planejado. Segundo o autor, uma das razões que contribuiu para esse fato foi o espalhamento das fibras durante a prensagem, determinando que a mesma massa de fibras se dispersasse por uma área maior do que a planejada para o painel. Shupe et al. (1993) também constataram que durante a prensagem houve uma tendência do colchão em espalhar-se, com perda de material durante o fechamento da prensa.

Os painéis apresentaram valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água de 3,68 a 42,55% e de 6,63 a 54,52%, respectivamente (Tabela 12).

Tabela 12: Valores médios de inchamento em espessura e absorção de água

Tratamento	Cód.	Incham. 2h (%)	Desvio Padrão	Incham. 24h (%)	Desvio Padrão	Absorção 2h (%)	Desvio Padrão	Absorção 24h (%)	Desvio Padrão
EM40AR60	1	33,84 <b>abcd</b>	8,56	41,55 <b>abc</b>	12,01	85,51 <b>abcde</b>	21,84	105,00 <b>abc</b>	19,85
EM50AR50	2	35,69 <b>abc</b>	10,05	54,52 <b>a</b>	20,82	73,73 <b>abcdefg</b>	16,21	102,26 <b>abcd</b>	10,85
EM60AR40	3	29,83 <b>bcd</b>	1,79	38,63 <b>abc</b>	5,37	62,55 <b>bcdefgh</b>	7,58	84,81 <b>bcdefg</b>	13,61
EP40AR60	4	9,50 <b>f</b>	3,45	12,02 <b>fg</b>	4,39	45,45 <b>defghi</b>	26,71	62,16 <b>defghi</b>	31,62
EP50AR50	5	4,05 <b>f</b>	1,43	6,63 <b>g</b>	0,93	24,33 <b>hi</b>	13,88	42,10 <b>hi</b>	20,59
EP60AR40	6	3,68 <b>f</b>	1,77	7,22 <b>g</b>	3,53	16,16 <b>i</b>	7,48	31,59 <b>i</b>	9,30
EM20EP20AR60	7	22,89 <b>de</b>	6,69	27,58 <b>cdef</b>	8,19	56,19 <b>cdefghi</b>	4,63	65,03 <b>cdefghi</b>	7,81
EM25EP25AR50	8	12,79 <b>ef</b>	1,99	18,32 <b>defg</b>	3,13	42,96 <b>efghi</b>	22,83	58,82 <b>efghi</b>	19,51
EM30EP30AR40	9	11,37 <b>ef</b>	3,95	17,91 <b>defg</b>	4,85	36,83 <b>ghi</b>	20,86	55,18 <b>fghi</b>	18,22
EM40AM60	10	42,55 <b>a</b>	2,72	44,76 <b>abc</b>	2,42	111,07 <b>a</b>	40,69	128,09 <b>a</b>	12,90
EM50AM50	11	36,60 <b>abc</b>	5,43	40,50 <b>abc</b>	4,97	106,08 <b>ab</b>	34,26	114,32 <b>ab</b>	30,32
EM60AM40	12	39,04 <b>ab</b>	5,64	46,94 <b>ab</b>	7,06	88,70 <b>abcd</b>	8,91	100,95 <b>abcd</b>	13,07
EP40AM60	13	13,71 <b>ef</b>	9,09	15,54 <b>efg</b>	9,97	70,29 <b>abcdefg</b>	15,63	73,13 <b>bcdefgh</b>	15,98
EP50AM50	14	9,82 <b>f</b>	2,46	11,19 <b>fg</b>	2,45	40,51 <b>efghi</b>	12,22	50,36 <b>fghi</b>	10,18
EP60AM40	15	5,32 <b>f</b>	2,56	7,67 <b>g</b>	2,82	40,09 <b>fghi</b>	23,71	46,61 <b>ghi</b>	20,23
EM20EP20AM60	16	26,40 <b>cd</b>	3,49	29,91 <b>bcde</b>	3,66	92,50 <b>abc</b>	21,57	99,77 <b>abcde</b>	29,85
EM25EP25AM50	17	27,14 <b>cd</b>	9,81	32,90 <b>bcd</b>	16,90	84,37 <b>abcdef</b>	32,06	88,43 <b>abcdef</b>	30,88
EM30EP30AM40	18	13,86 <b>ef</b>	5,51	19,76 <b>defg</b>	3,94	49,83 <b>cdefghi</b>	20,44	62,25 <b>cdefghi</b>	17,16

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferença estatística, com nível de significância de 5%.

Quando os painéis são expostos à umidade sofrem alterações importantes, como o inchamento em espessura. Essa propriedade pode limitar o uso de um painel, já que, quanto maior o inchamento, maior a variação de espessura desse painel.

A Tabela 12 indica que, para o inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água, os melhores tratamentos foram os tratamentos 6, 5, 15, 4 e 14, embora não apresentassem diferença significativa dos tratamentos 9, 8, 13 e 18. Todos esses tratamentos têm na matriz a presença do plástico.

O tratamento 10 apresentou o maior valor de porcentagem de inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água. Esse comportamento foi esperado já que o tratamento apresentou embalagem multilaminada que é constituída por 75% de papel.

Para o inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, o tratamento 2 apresentou a maior porcentagem de variação de espessura, ou seja 54,52%.

A norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) especifica que o inchamento em espessura máximo permitido é de 8% para painéis de alta densidade. Ribeiro (1998), ao produzir painéis a partir de embalagens multilaminadas com resinas uréica e fenólica, adotou o valor máximo de 12%. No presente estudo, os tratamentos que apresentaram valores de inchamento após 24 horas de imersão em água menores que 8% foram o 5, 6 e 15.

Os valores obtidos para absorção de água após 2 e 24 horas de imersão variaram, respectivamente, de 16,16 a 111,07% e de 31,59 a 128,09%, conforme pode ser visto na Tabela 12.

O tratamento 6 apresentou a menor porcentagem de absorção de água após 2 horas de imersão. Esse tratamento não apresentou diferença significativa dos tratamentos 5, 15, 14, 9, 8, 4, 18 e 7. Nenhum desses tratamentos tem as embalagens multilaminadas como matriz.

O tratamento 10 apresentou a maior porcentagem de inchamento em espessura e de absorção de água após 2 horas de imersão. Passadas as 24 horas de imersão, esse tratamento apresentou também a maior porcentagem de absorção de água.

### 6.1.3 Painéis - propriedades mecânicas

A análise de variância dos tratamentos para as propriedades mecânicas encontra-se no Apêndice 5. Os valores obtidos no estudo das propriedades mecânicas dos painéis referentes



ao módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície, encontram-se no Apêndice 6, bem como uma exemplificação do relatório de ensaio de flexão e de tração perpendicular à superfície. Na Tabela 13 estão listados os valores médios de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície.

Não foi constatada diferença significativa para o módulo de elasticidade e para a tração perpendicular à superfície.

O tratamento 6 apresentou o maior valor de módulo de ruptura e o tratamento 10, o menor. Os demais tratamentos não apresentaram diferença significativa.

Tabela 13: Valores médios de módulo de elasticidade, módulo de ruptura e tração perpendicular à superfície

Tratamento	Código	MOE (MPa)	Desvio Padrão	MOR (MPa)	Desvio Padrão	Tração Perp. (MPa)	Desvio Padrão
EM40AR60	1	332,11 <b>a</b>	408,14	1,95 <b>abc</b>	2,24	0,04 <b>a</b>	0,05
EM50AR50	2	196,05 <b>a</b>	141,25	1,43 <b>abc</b>	1,06	0,05 <b>a</b>	0,01
EM60AR40	3	257,57 <b>a</b>	41,88	2,43 <b>abc</b>	0,35	0,09 <b>a</b>	0,04
EP40AR60	4	202,44 <b>a</b>	86,24	2,15 <b>abc</b>	0,85	0,08 <b>a</b>	0,06
EP50AR50	5	213,07 <b>a</b>	95,68	2,75 <b>ab</b>	1,37	0,06 <b>a</b>	0,04
EP60AR40	6	253,24 <b>a</b>	66,12	3,26 <b>a</b>	0,91	0,06 <b>a</b>	0,06
EM20EP20AR60	7	197,50 <b>a</b>	70,84	1,56 <b>abc</b>	0,51	0,04 <b>a</b>	0,02
EM25EP25AR50	8	224,07 <b>a</b>	105,81	2,26 <b>abc</b>	1,09	0,05 <b>a</b>	0,04
EM30EP30AR40	9	272,72 <b>a</b>	144,74	2,75 <b>ab</b>	1,46	0,06 <b>a</b>	0,10
EM40AM60	10	87,49 <b>a</b>	26,32	0,54 <b>c</b>	0,08	0,07 <b>a</b>	0,10
EM50AM50	11	136,64 <b>a</b>	96,41	1,19 <b>abc</b>	0,57	0,03 <b>a</b>	0,02
EM60AM40	12	257,31 <b>a</b>	109,31	1,75 <b>abc</b>	0,58	0,04 <b>a</b>	0,03
EP40AM60	13	157,38 <b>a</b>	77,37	1,43 <b>abc</b>	0,44	0,09 <b>a</b>	0,09
EP50AM50	14	162,55 <b>a</b>	79,87	1,90 <b>abc</b>	0,73	0,12 <b>a</b>	0,11
EP60AM40	15	106,44 <b>a</b>	68,55	1,60 <b>abc</b>	1,03	0,07 <b>a</b>	0,06
EM20EP20AM60	16	78,87 <b>a</b>	90,07	0,98 <b>bc</b>	0,70	0,06 <b>a</b>	0,03
EM25EP25AM50	17	179,10 <b>a</b>	137,05	1,45 <b>abc</b>	0,98	0,03 <b>a</b>	0,05
EM30EP30AM40	18	252,84 <b>a</b>	123,48	1,97 <b>abc</b>	0,92	0,11 <b>a</b>	0,15

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferença estatística, com nível de significância de 5%.

Nos tratamentos realizados, os valores médios de módulo de elasticidade variaram de 78,87 a 332,11 MPa.

Os valores médios do módulo de ruptura variaram de 0,54 a 3,26 MPa.

Para o ensaio de tração perpendicular à superfície os valores médios obtidos variaram de 0,03 a 0,12 MPa, conforme podem ser verificados na Tabela 13.

Os valores de módulo de elasticidade não atingiram o mínimo recomendado pelos padrões e normas internacionais ANSI A208.1 (ANSI, 1993). Pela referida norma, apenas o tratamento 6 atingiu o valor mínimo de módulo de ruptura, para painéis de baixa densidade, e os tratamentos 14 e 18 atingiram o valor mínimo de tração perpendicular à superfície, também para painéis de baixa densidade (Tabela 14).

Os resultados obtidos indicam que os painéis necessitam uma pressão de prensagem maior e uma proporção maior de material plástico, garantindo uma maior estabilidade dimensional e melhor adesão entre as partículas e, por consequência, melhorando as propriedades mecânicas dos painéis.

#### 6.1.4 Painéis – enquadramento dos tratamentos (de acordo com a norma ANSI)

Para enquadramento final dos painéis de cada tratamento utilizaram-se a norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) apresentada no Apêndice 7 e simplificada na Tabela 14.

A tabela 15 sintetiza os resultados das propriedades físicas e mecânicas apresentados nos itens 6.1.2 e 6.1.3.

Tabela 14: Classificação, valores mínimos e uso recomendado de painéis pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993)

Classificação	Categorias	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)	Uso recomendado
Baixa densidade	LD1	< 0,64	3,00	550	0,10	Enchimento de portas
Baixa densidade	LD2	< 0,64	5,00	1025	0,15	Enchimento de portas
Média densidade	M1	0,64 a 0,80	11,00	1725	0,40	Comercial
Média densidade	MS	0,64 a 0,80	12,50	1900	0,40	Comercial
Média densidade	M2	0,64 a 0,80	14,50	2250	0,45	Industrial
Média densidade	M3	0,64 a 0,80	16,50	2750	0,55	Industrial
Alta densidade	H1	0,80	16,50	2400	0,90	Industrial de alta densidade
Alta densidade	H2	0,80	20,50	2400	0,90	Industrial de alta densidade
Alta densidade	H3	0,80	23,50	2750	1,00	Industrial de alta densidade
	PBU		11,00	1725	0,40	Contra-piso
	D2		16,60	2750	0,55	Piso
	D3		19,50	3100	0,55	Piso

Tabela 15: Resultados das propriedades físicas e mecânicas

Propriedades avaliadas	Melhores tratamentos	Piores tratamentos	Valores limítrofes	Classificação ANSI A-208.1
Teor de umidade	T5 (50% EP e 50% AR) T6 (60%EP e 40% AR)	T10 (40% EM 60% AM)	3,39 a 11,66%	
Densidade	<sup>(1)</sup>	<sup>(1)</sup>	0,66 a 0,79 g/cm <sup>3</sup>	M1, MS, M2 e M3
Inchamento-2 h.	T6 (60%EP e 40% AR) T5 (50% EP e 50% AR) T15 (60% EP e 40% AM) T4 (40% EP e 60% AR) T14 (50% EP e 50% AM)	T10 (40% EM 60% AM)	3,68 a 42,55 %	
Absorção- 2h	T6 (60%EP e 40% AR)	T10 (40% EM 60% AM)	16,16 a 111,07 %	
Inchamento-24 h	T5 (50% EP e 50% AR) T6 (60%EP e 40% AR) T15 (60% EP e 40% AM)	T2 (50%EM e 50% AR)	6,63 a 54,52 %	8 % <sup>(2)</sup>
Absorção-24 h	T6 (60%EP e 40% AR)	T10 (40% EM 60% AM)	31,59 a 128,09 %	
MOE	<sup>(1)</sup>	<sup>(1)</sup>	78,87 a 322,11 MPa <sup>(3)</sup>	
MOR	T6 (60%EP e 40% AR)	T10 (40% EM 60% AM)	0,54 a 3,26 MPa	LD1
Tração perpend.	<sup>(1)</sup>	<sup>(1)</sup>	0,03 a 0,12 MPa	LD1
Densidade <sup>(4)</sup>			0,28 a 0,62 g/cm <sup>3</sup>	
MOE <sup>(4)</sup>			70,29 a 167,11 MPa <sup>(3)</sup>	

<sup>(1)</sup> Tratamentos não apresentaram diferença significativa.

<sup>(2)</sup> Exigência para a Classe D (painéis de alta densidade).

<sup>(3)</sup> Tratamentos não atingiram ao valor mínimo exigido pela norma ANSI (Tabela 9).

<sup>(4)</sup> Propriedades reavaliadas pelos ensaios complementares.

#### 6.1.5 Painéis – interferência das variáveis por análise comparativa entre os tratamentos

As Figuras 29 a 43 ilustram as comparações entre os tratamentos para cada variável. Assim, por exemplo comparou-se na Figura 29 os valores obtidos para teor de umidade e densidade nos tratamentos 1 (EM40AR60) e 10 (EM40AM60), em que variou apenas a carga de reforço (casca de arroz ou casca de amendoim). Em todas as nove comparações de teor de umidade a casca de arroz prevaleceu com os melhores resultados, portanto a interferência foi plena (100% das comparações).

Na Tabela 16, observa-se, resumidamente, a influência das variáveis (carga de reforço, matriz e da relação matriz/reforço) nos tratamentos.

Tabela 16: Interferências das variáveis nos melhores resultados, por contagem de comparações

Propriedades	Carga de reforço		Matriz			Relação matriz/reforço		
	AR	AM	EM	EP	EM+EP	40/60	50/50	60/40
Teor de umidade	plena			ampla	restrita	restrita	restrita	considerável
Densidade	ampla	restrita	restrita	restrita	ampla	restrita	restrita	considerável
Inchamento-2h	plena			plena		restrita	restrita	ampla
Absorção-2h	plena			plena				plena
Inchamento-24h	ampla	restrita		plena		restrita	restrita	ampla
Absorção-24h	plena			plena				plena
MOE	plena		restrita	restrita	considerável	restrita	restrita	ampla
MOR	plena			ampla	restrita		restrita	ampla
Tração perp.	restrita	ampla	restrita	ampla	restrita	restrita	restrita	considerável

(1) Interferência **plena** em 100% das comparações.

(2) Interferência **ampla** em mais de 50% das comparações.

(3) Interferência **considerável** em 50% das comparações.

(4) Interferência **restrita** em menos de 50% das comparações.

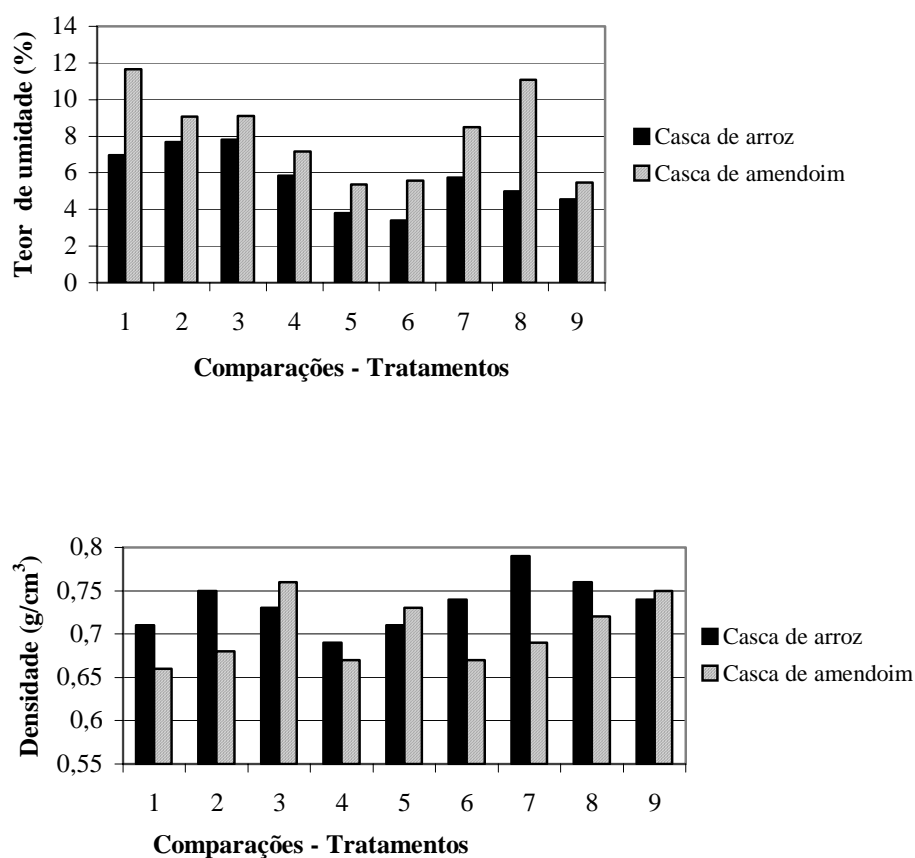
Os melhores resultados de teor de umidade são os que apresentam as menores porcentagens de umidade. Já para a densidade os melhores resultados são os que apresentam valores maiores.

Analisando o teor de umidade e a densidade dos painéis nota-se, pela Figura 29, que a casca de arroz apresentou melhores resultados em todas as comparações, sendo que, para a densidade, a casca de amendoim apresentou bons resultados nas comparações 3, 5 e 9.

Em relação à matriz, a embalagem plástica interferiu nos melhores resultados de teor de umidade, com exceção nas comparações 1 e 6 (Figura 30)

Verifica-se, pela Figura 30, que tratamentos que utilizaram a mistura de embalagens multilaminadas com embalagens plásticas influenciaram positivamente na densidade, nas comparações 1, 2, 3 e 4.

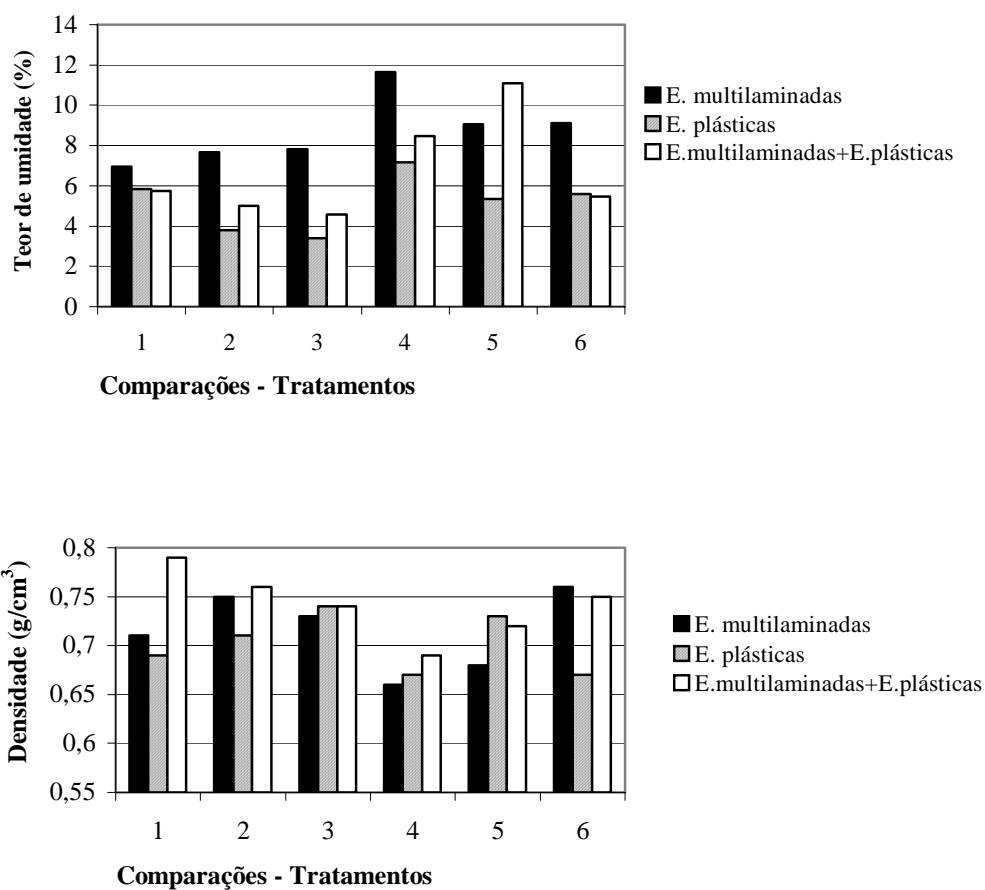
Em relação à variável matriz/reforço, apenas as comparações 2, 5 e 6 apresentaram os melhores resultados de teor de umidade com a proporção 60/40 (Figura 31). A proporção 60/40 destacou-se também nas comparações 2, 3 e 6.



#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40AR60) e 10 (EM40AM60),
- 2: tratamentos 2 (EM50AR50) e 11 (EM50AM50),
- 3: tratamentos 3 (EM60AR40) e 12 (EM60AM40),
- 4: tratamentos 4 (EP40AR60) e 13 (EP40AM60),
- 5: tratamentos 5 (EP50AR50) e 14 (EP50AM50),
- 6: tratamentos 6 (EP60AR40) e 15 (EP60AM40),
- 7: tratamentos 7 (EM20EP20AR60) e 16 (EM20EP20AM60),
- 8: tratamentos 8 (EM25EP25AR50) e 17 (EM25EP25AM50),
- 9: tratamentos 9 (EM30EP30AR40) e 18 (EM30EP30AM40).

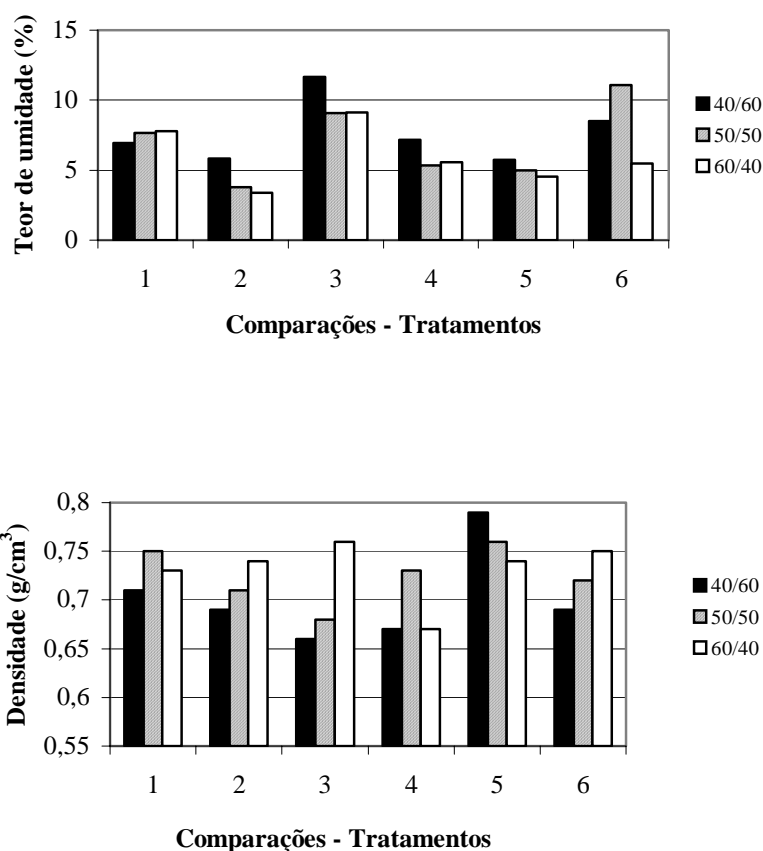
Figura 29: Interferência do reforço no teor de umidade e na densidade



Comparações:

- 1: tratamentos 1 (**EM40AR60**), 4 (**EP40AR60**) e 7 (**EM20EP20AR60**),
- 2: tratamentos 2 (**EM50AR50**), 5 (**EP50AR50**) e 8 (**EM25EP25AR50**),
- 3: tratamentos 3 (**EM60AR40**), 6 (**EP60AR40**) e 9 (**EM30EP30AR40**),
- 4: tratamentos 10 (**EM40AM60**), 13 (**EP40AM60**) e 16 (**EM20EP20AM60**),
- 5: tratamentos 11 (**EM50AM50**), 14 (**EP50AM50**) e 17 (**EM25EP25AM50**),
- 6: tratamentos 12 (**EM60AM40**), 15 (**EP60AM40**) e 18 (**EM30EP30AM40**).

Figura 30: Interferência da matriz no teor de umidade e da densidade.

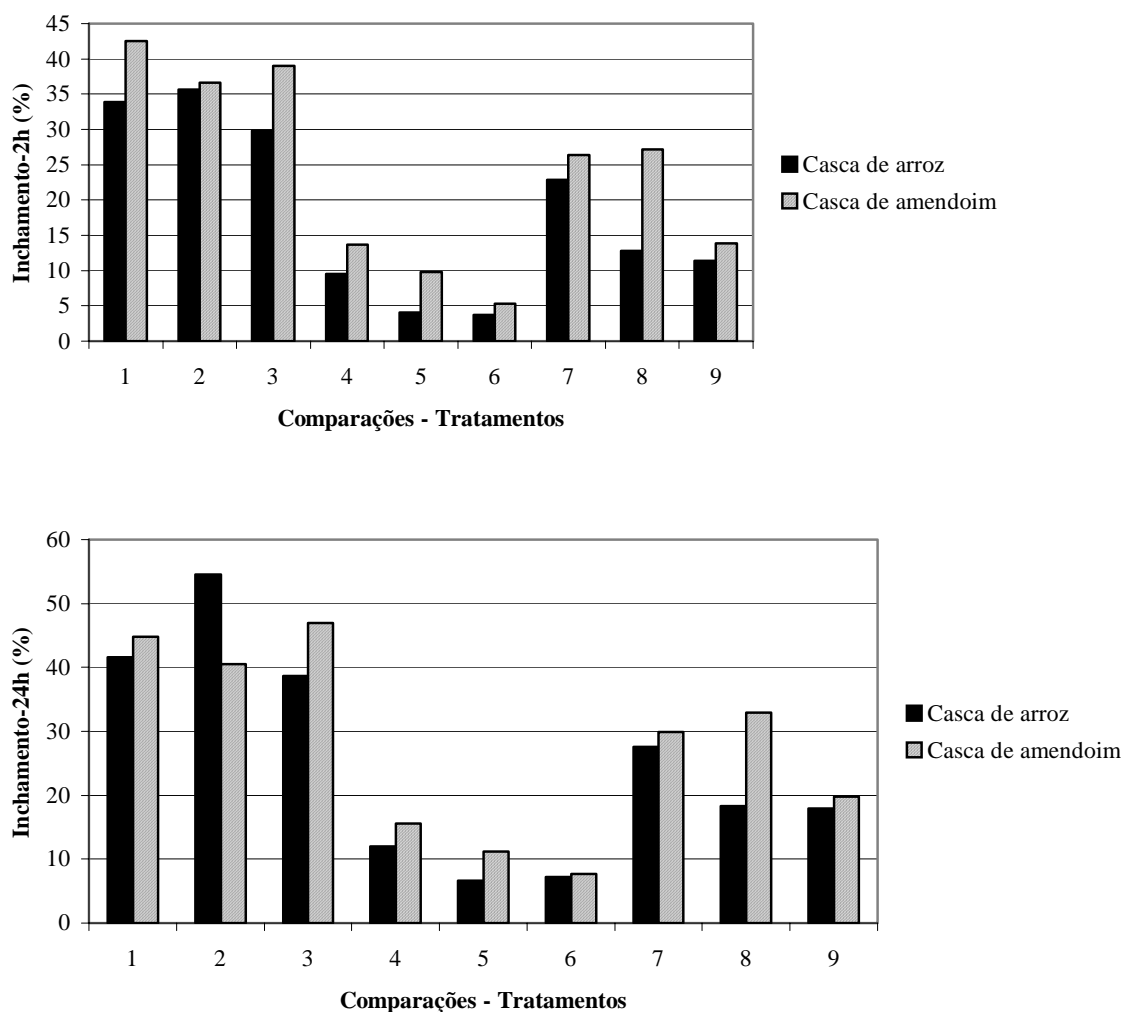


#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40AR60), 2 (EM50AR50) e 3 (EM60AR40),
- 2: tratamentos 4 (EP40AR60), 5 (EP50AR50) e 6 (EP60AR40),
- 3: tratamentos 10 (EM40AM60), 11 (EM50AM50) e 12 (EM60AM40),
- 4: tratamentos 13 (EP40AM60), 14 (EP50AM50) e 15 (EP60AM40),
- 5: tratamentos 7 (EM20EP20AR60), 8 (EM25EP25AR50) e 9 (EM30EP30AR40),
- 6: tratamentos 16 (EM20EP20AM60), 17 (EM25EP25AM50) e 18 (EM30EP30AM40).

Figura 31: Interferência da relação matriz/reforço no teor de umidade e na densidade

Os melhores resultados de inchamento são os que apresentam as menores porcentagens. Para o inchamento em espessura, após 2 e 24 horas, a casca de arroz apresentou melhores resultados. Para o inchamento após 24 horas apenas a comparação 2 foi a exceção (Figuras 32).



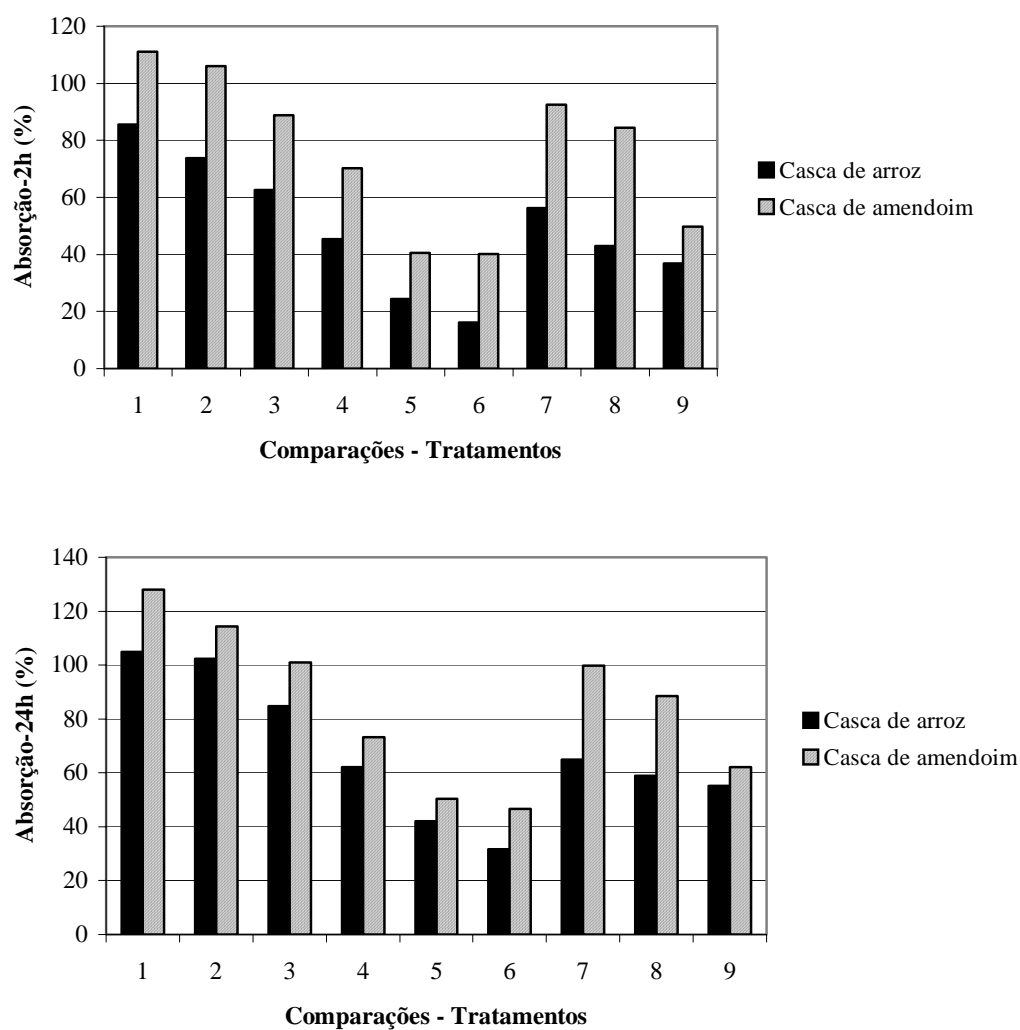
#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40AR60) e 10 (EM40AM60),
- 2: tratamentos 2 (EM50AR50) e 11 (EM50AM50),
- 3: tratamentos 3 (EM60AR40) e 12 (EM60AM40),
- 4: tratamentos 4 (EP40AR60) e 13 (EP40AM60),
- 5: tratamentos 5 (EP50AR50) e 14 (EP50AM50),
- 6: tratamentos 6 (EP60AR40) e 15 (EP60AM40),
- 7: tratamentos 7 (EM20EP20AR60) e 16 (EM20EP20AM60),
- 8: tratamentos 8 (EM25EP25AR50) e 17 (EM25EP25AM50),
- 9: tratamentos 9 (EM30EP30AR40) e 18 (EM30EP30AM40).

Figura 32: Interferência do reforço no inchamento em espessura em 2 e 24 horas

Os melhores resultados de absorção são os que apresentam as menores porcentagens. Na absorção de água, após 2 e 24 horas, a casca de arroz prevaleceu nas comparações (Figura 33).



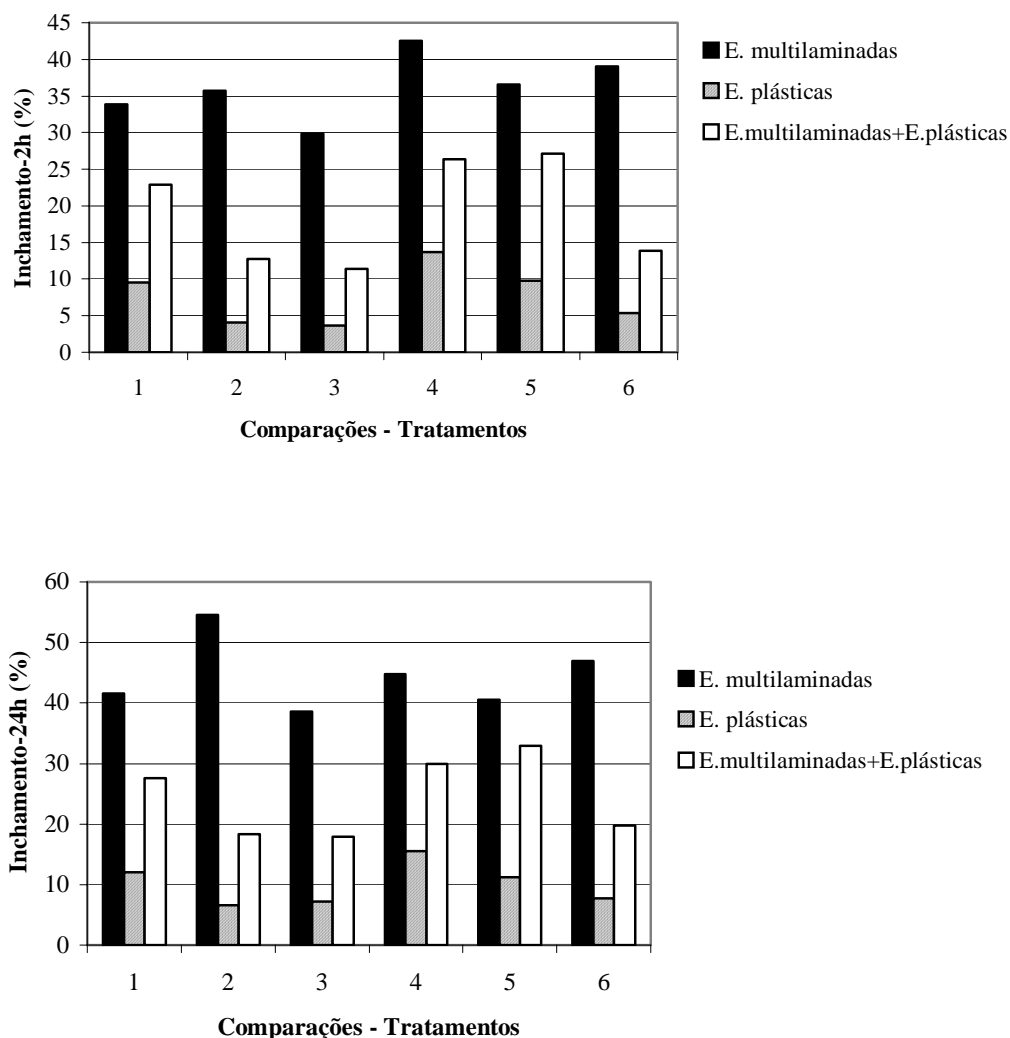


#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40AR60) e 10 (EM40AM60),
- 2: tratamentos 2 (EM50AR50) e 11 (EM50AM50),
- 3: tratamentos 3 (EM60AR40) e 12 (EM60AM40),
- 4: tratamentos 4 (EP40AR60) e 13 (EP40AM60),
- 5: tratamentos 5 (EP50AR50) e 14 (EP50AM50),
- 6: tratamentos 6 (EP60AR40) e 15 (EP60AM40),
- 7: tratamentos 7 (EM20EP20AR60) e 16 (EM20EP20AM60),
- 8: tratamentos 8 (EM25EP25AR50) e 17 (EM25EP25AM50),
- 9: tratamentos 9 (EM30EP30AR40) e 18 (EM30EP30AM40).

Figura 33: Interferência do reforço na absorção de água em 2 e 24 horas

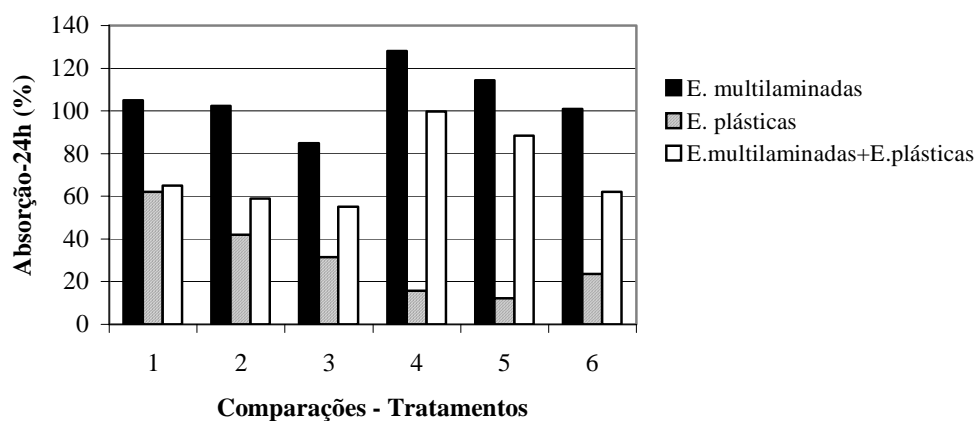
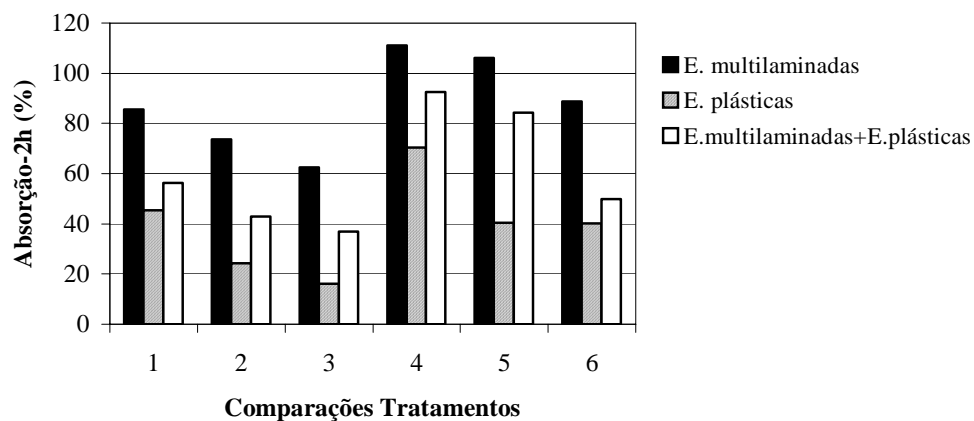
Pelas Figuras 34 e 35, nota-se que as embalagens plásticas apresentaram melhores resultados para o inchamento em espessura e absorção de água após 2 e 24 horas de imersão.



Comparações:

- 1: tratamentos 1 (**EM40AR60**), 4 (**EP40AR60**) e 7 (**EM20EP20AR60**),
- 2: tratamentos 2 (**EM50AR50**), 5 (**EP50AR50**) e 8 (**EM25EP25AR50**),
- 3: tratamentos 3 (**EM60AR40**), 6 (**EP60AR40**) e 9 (**EM30EP30AR40**),
- 4: tratamentos 10 (**EM40AM60**), 13 (**EP40AM60**) e 16 (**EM20EP20AM60**),
- 5: tratamentos 11 (**EM50AM50**), 14 (**EP50AM50**) e 17 (**EM25EP25AM50**),
- 6: tratamentos 12 (**EM60AM40**), 15 (**EP60AM40**) e 18 (**EM30EP30AM40**).

Figura 34: Interferência da matriz no inchamento em espessura em 2 e 24 horas



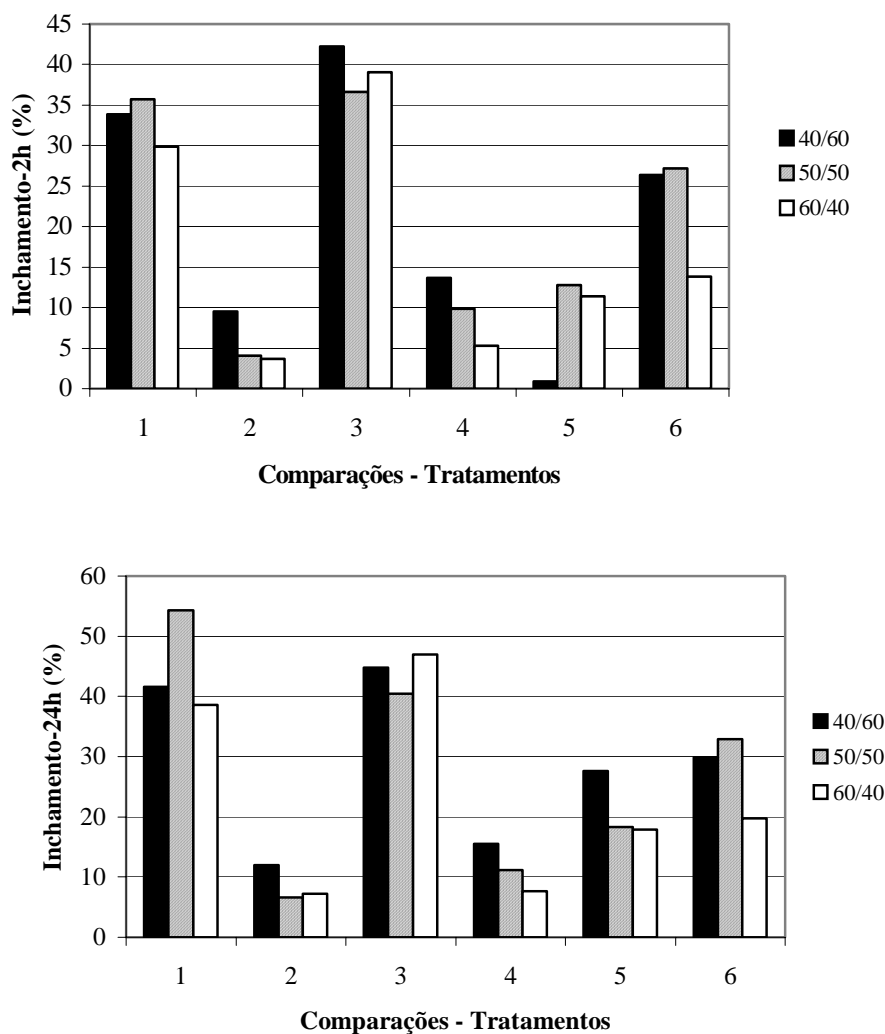
Comparações:

- 1: tratamentos 1 (**EM**40AR60), 4 (**EP**40AR60) e 7 (**EM**20**EP**20AR60),
- 2: tratamentos 2 (**EM**50AR50), 5 (**EP**50AR50) e 8 (**EM**25**EP**25AR50),
- 3: tratamentos 3 (**EM**60AR40), 6 (**EP**60AR40) e 9 (**EM**30**EP**30AR40),
- 4: tratamentos 10 (**EM**40AM60), 13 (**EP**40AM60) e 16 (**EM**20**EP**20AM60),
- 5: tratamentos 11 (**EM**50AM50), 14 (**EP**50AM50) e 17 (**EM**25**EP**25AM50),
- 6: tratamentos 12 (**EM**60AM40), 15 (**EP**60AM40) e 18 (**EM**30**EP**30AM40).

Figura 35: Interferência da matriz na absorção de água em 2 e 24 horas

As menores porcentagens de inchamento em espessura, após 2 horas de imersão, foram obtidas nas comparações 1, 2, 4 e 6 com a proporção 60/40; na comparação 3, com a proporção 50/50; e na comparação 5 com a proporção 40/60 (Figura 36). Nessa figura, nota-

se que, no inchamento em espessura, após 24 horas, os melhores resultados foram obtidos com a proporção 60/40, com exceção das comparações 2 e 3.

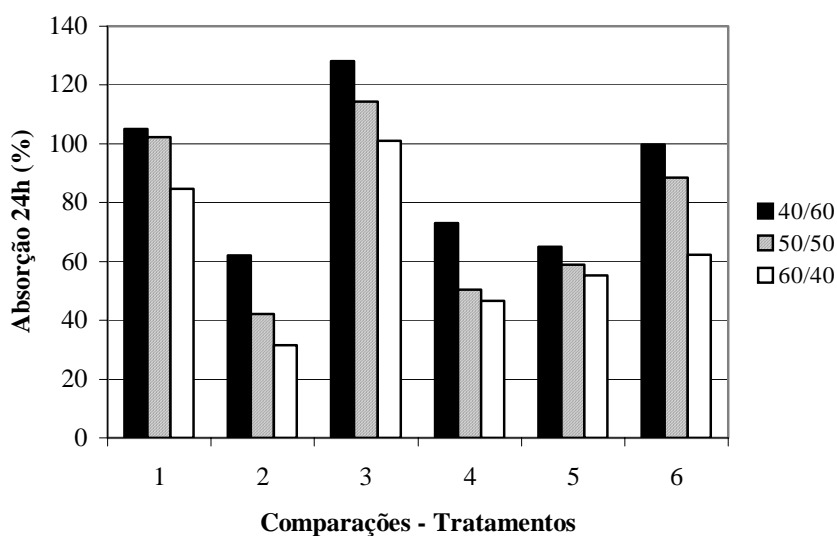
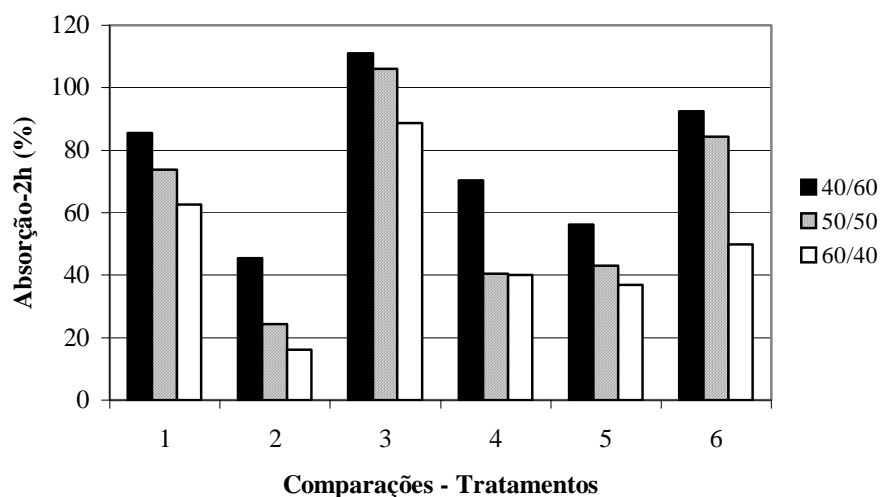


#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40AR60), 2 (EM50AR50) e 3 (EM60AR40),  
 2: tratamentos 4 (EP40AR60), 5 (EP50AR50) e 6 (EP60AR40),  
 3: tratamentos 10 (EM40AM60), 11 (EM50AM50) e 12 (EM60AM40),  
 4: tratamentos 13 (EP40AM60), 14 (EP50AM50) e 15 (EP60AM40),  
 5: tratamentos 7 (EM20EP20AR60), 8 (EM25EP25AR50) e 9 (EM30EP30AR40),  
 6: tratamentos 16 (EM20EP20AM60), 17 (EM25EP25AM50) e 18 (EM30EP30AM40).

Figura 36: Interferência da relação matriz/reforço no inchamento em espessura em 2 e 24 horas.

Em todas as comparações, as menores porcentagens de absorção de água, após 2 e 24 horas, foram obtidas com a proporção 60/40, conforme pode ser visto pela Figura 37.

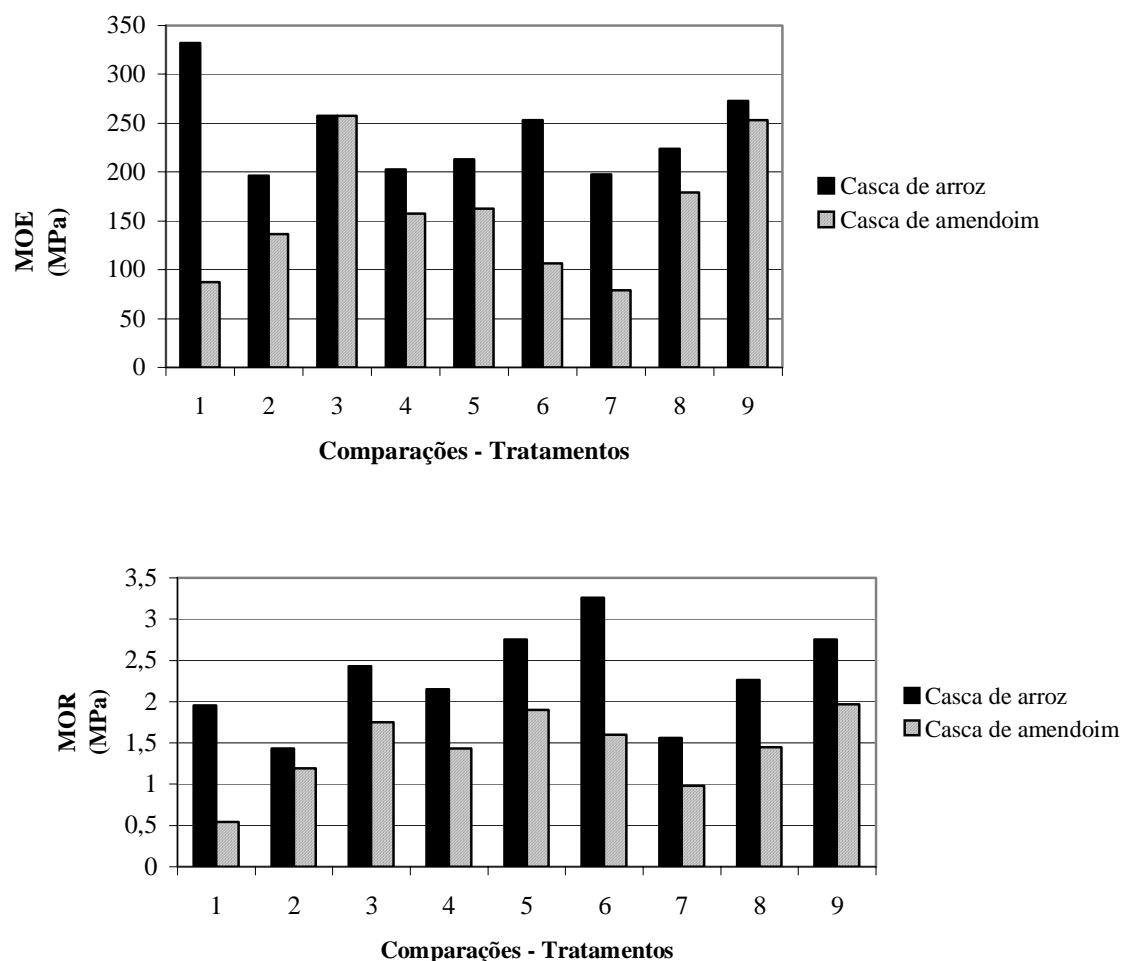


#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40AR60), 2 (EM50AR50) e 3 (EM60AR40),
- 2: tratamentos 4 (EP40AR60), 5 (EP50AR50) e 6 (EP60AR40),
- 3: tratamentos 10 (EM40AM60), 11 (EM50AM50) e 12 (EM60AM40),
- 4: tratamentos 13 (EP40AM60), 14 (EP50AM50) e 15 (EP60AM40),
- 5: tratamentos 7 (EM20EP20AR60), 8 (EM25EP25AR50) e 9 (EM30EP30AR40),
- 6: tratamentos 16 (EM20EP20AM60), 17 (EM25EP25AM50) e 18 (EM30EP30AM40).

Figura 37 Interferência da relação matriz/reforço na absorção de água em 2 e 24 horas

Para o módulo de elasticidade e ruptura, a casca de arroz, apresentou melhores resultados em todas as comparações, conforme pode ser verificado na Figura 38.

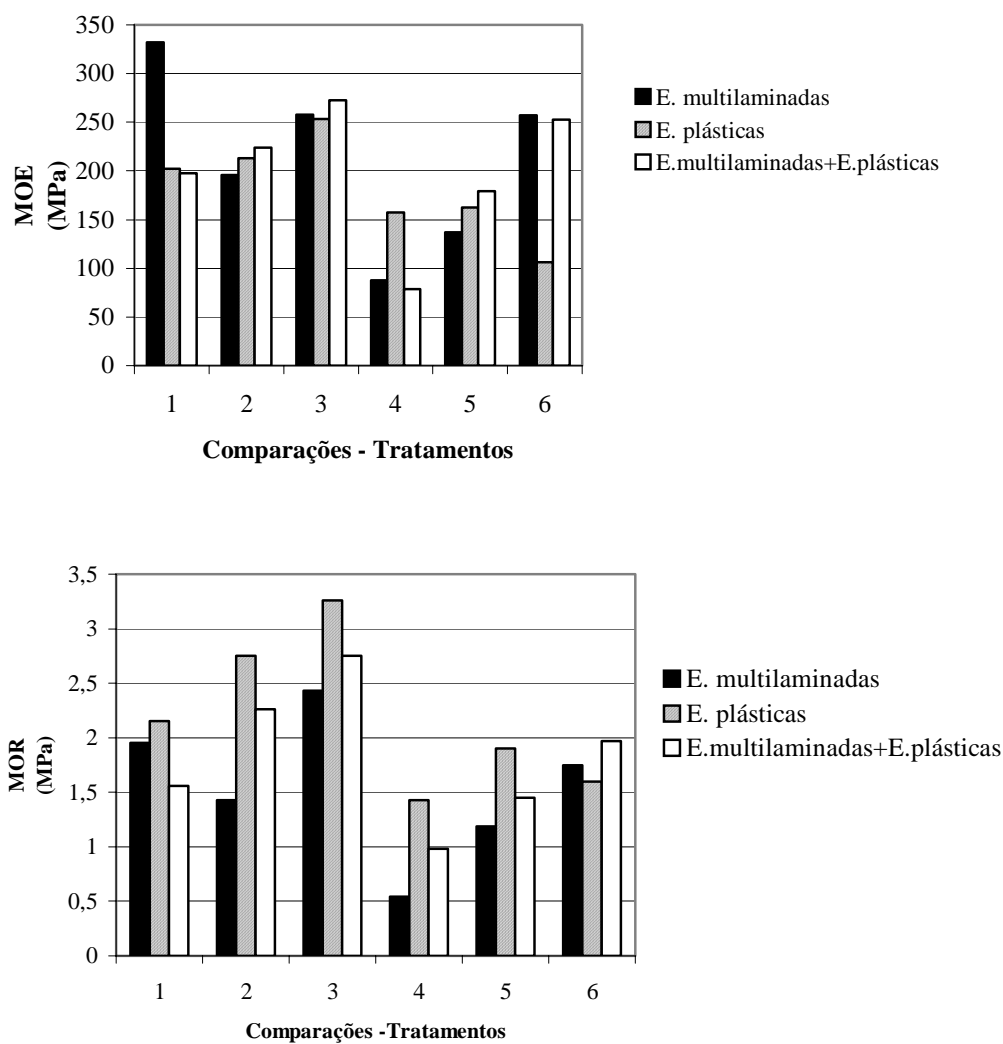


#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40**AR**60) e 10 (EM40**AM**60),
- 2: tratamentos 2 (EM50**AR**50) e 11 (EM50**AM**50),
- 3: tratamentos 3 (EM60**AR**40) e 12 (EM60**AM**40),
- 4: tratamentos 4 (EP40**AR**60) e 13 (EP40**AM**60),
- 5: tratamentos 5 (EP50**AR**50) e 14 (EP50**AM**50),
- 6: tratamentos 6 (EP60**AR**40) e 15 (EP60**AM**40),
- 7: tratamentos 7 (EM20EP20**AR**60) e 16 (EM20EP20**AM**60),
- 8: tratamentos 8 (EM25EP25**AR**50) e 17 (EM25EP25**AM**50),
- 9: tratamentos 9 (EM30EP30**AR**40) e 18 (EM30EP30**AM**40).

Figura 38: Interferência da carga de reforço no módulo de elasticidade e módulo de ruptura

Para módulo de elasticidade, as comparações 2, 3 e 5 apresentaram melhores resultados com as embalagens multilaminadas misturadas com as embalagens plásticas. Para o módulo de ruptura, as embalagens plásticas apresentaram os melhores resultados, com exceção da comparação 6 (Figura 39).

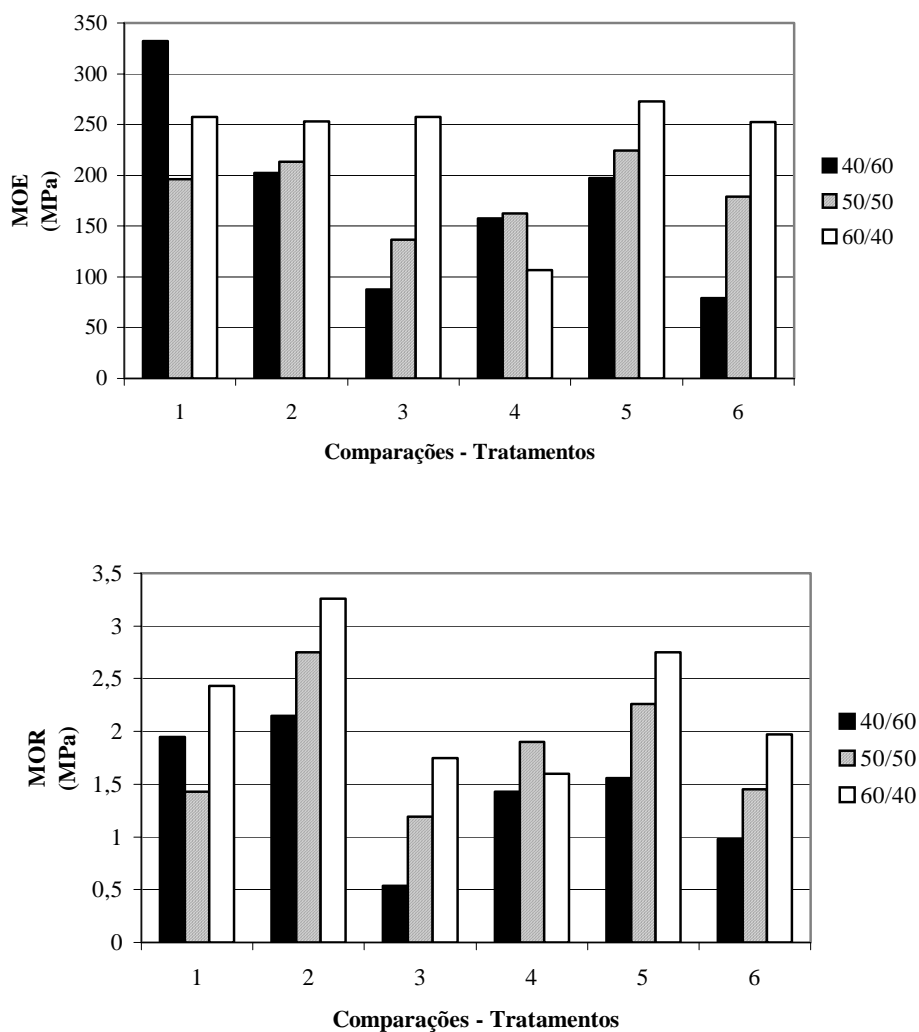


Comparações:

- 1: tratamentos 1 (**EM40AR60**), 4 (**EP40AR60**) e 7 (**EM20EP20AR60**),
- 2: tratamentos 2 (**EM50AR50**), 5 (**EP50AR50**) e 8 (**EM25EP25AR50**),
- 3: tratamentos 3 (**EM60AR40**), 6 (**EP60AR40**) e 9 (**EM30EP30AR40**),
- 4: tratamentos 10 (**EM40AM60**), 13 (**EP40AM60**) e 16 (**EM20EP20AM60**),
- 5: tratamentos 11 (**EM50AM50**), 14 (**EP50AM50**) e 17 (**EM25EP25AM50**),
- 6: tratamentos 12 (**EM60AM40**), 15 (**EP60AM40**) e 18 (**EM30EP30AM40**).

Figura 39: Interferência da matriz no módulo de elasticidade e módulo de ruptura

Pela figura 40 analisou-se que, na relação matriz/reforço para o módulo de elasticidade, a proporção 60/40 apresentou os melhores resultados com as comparações 2, 3, 5 e 6. Para o módulo de ruptura prevaleceu a proporção 60/40, com exceção da comparação 4.



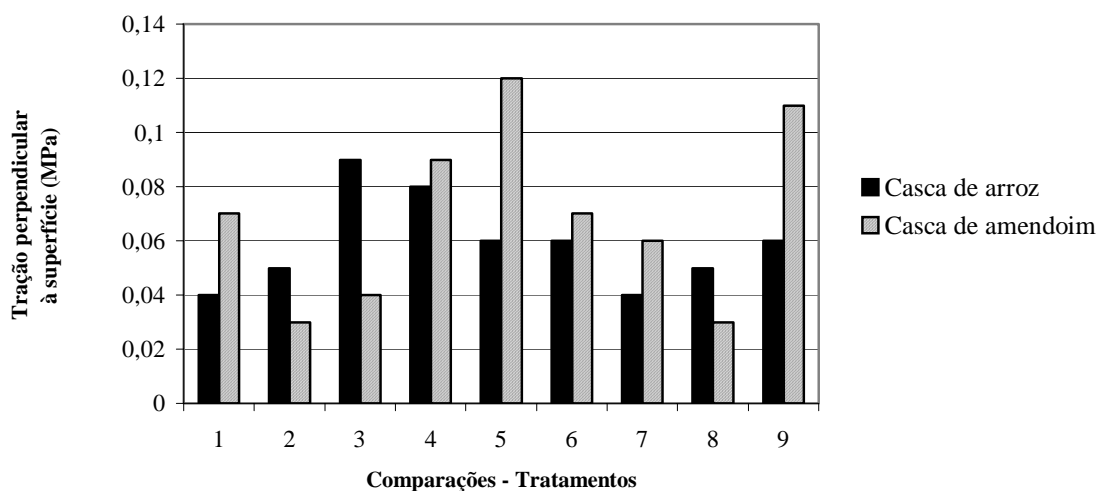
#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40AR60), 2 (EM50AR50) e 3 (EM60AR40),
- 2: tratamentos 4 (EP40AR60), 5 (EP50AR50) e 6 (EP60AR40),
- 3: tratamentos 10 (EM40AM60), 11 (EM50AM50) e 12 (EM60AM40),
- 4: tratamentos 13 (EP40AM60), 14 (EP50AM50) e 15 (EP60AM40),
- 5: tratamentos 7 (EM20EP20AR60), 8 (EM25EP25AR50) e 9 (EM30EP30AR40),
- 6: tratamentos 16 (EM20EP20AM60), 17 (EM25EP25AM50) e 18 (EM30EP30AM40).

Figura 40: Interferência da relação matriz/reforço no módulo de elasticidade e módulo de ruptura



Na análise da tração perpendicular à superfície, o material reforçado com casca de amendoim predominou entre os melhores resultados, tendo como exceção as comparações 2, 3 e 8 (Figura 41).

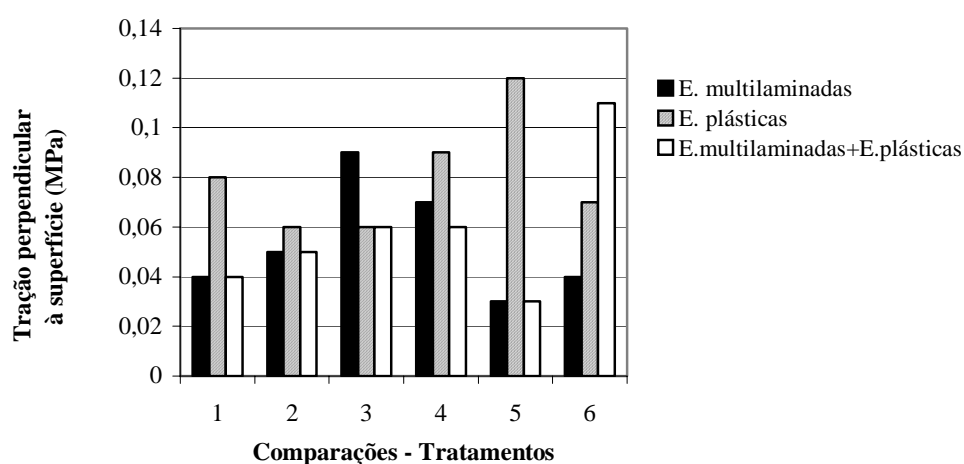


#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40**AR**60) e 10 (EM40**AM**60),
- 2: tratamentos 2 (EM50**AR**50) e 11 (EM50**AM**50),
- 3: tratamentos 3 (EM60**AR**40) e 12 (EM60**AM**40),
- 4: tratamentos 4 (EP40**AR**60) e 13 (EP40**AM**60),
- 5: tratamentos 5 (EP50**AR**50) e 14 (EP50**AM**50),
- 6: tratamentos 6 (EP60**AR**40) e 15 (EP60**AM**40),
- 7: tratamentos 7 (EM20EP20**AR**60) e 16 (EM20EP20**AM**60),
- 8: tratamentos 8 (EM25EP25**AR**50) e 17 (EM25EP25**AM**50),
- 9: tratamentos 9 (EM30EP30**AR**40) e 18 (EM30EP30**AM**40).

Figura 41: Interferência da carga de reforço na tração perpendicular à superfície

Pela Figura 42 verifica-se que as embalagens plásticas apresentaram melhores resultados para tração perpendicular à superfície, tendo como exceção as comparações 3 e 6.

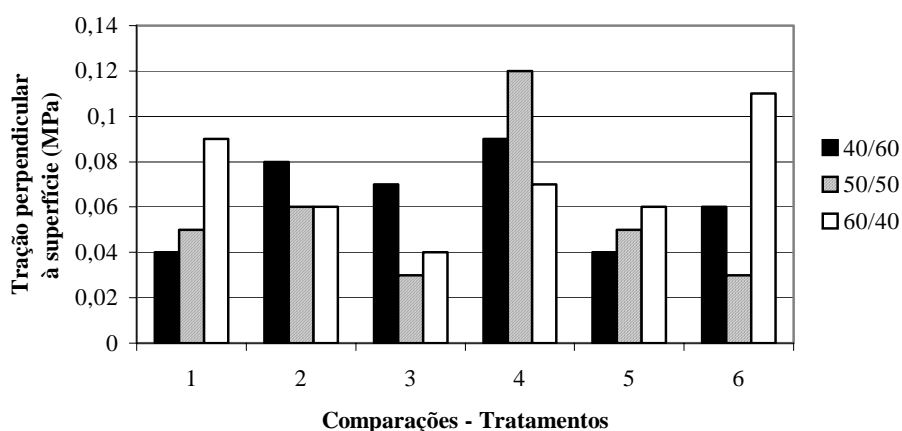


Comparações:

- 1: tratamentos 1 (**EM**40AR60), 4 (**EP**40AR60) e 7 (**EM**20**EP**20AR60),
- 2: tratamentos 2 (**EM**50AR50), 5 (**EP**50AR50) e 8 (**EM**25**EP**25AR50),
- 3: tratamentos 3 (**EM**60AR40), 6 (**EP**60AR40) e 9 (**EM**30**EP**30AR40),
- 4: tratamentos 10 (**EM**40AM60), 13 (**EP**40AM60) e 16 (**EM**20**EP**20AM60),
- 5: tratamentos 11 (**EM**50AM50), 14 (**EP**50AM50) e 17 (**EM**25**EP**25AM50),
- 6: tratamentos 12 (**EM**60AM40), 15 (**EP**60AM40) e 18 (**EM**30**EP**30AM40).

Figura 42: Interferência da matriz na tração perpendicular à superfície

Houve interferência considerável da relação matriz/reforço na tração perpendicular à superfície pois, conforme pode ser verificado na Figura 43, as comparações 1, 5 e 6 apresentaram melhores resultados com a proporção matriz/reforço de 60/40.



#### Comparações

- 1: tratamentos 1 (EM40AR60), 2 (EM50AR50) e 3 (EM60AR40),
- 2: tratamentos 4 (EP40AR60), 5 (EP50AR50) e 6 (EP60AR40),
- 3: tratamentos 10 (EM40AM60), 11 (EM50AM50) e 12 (EM60AM40),
- 4: tratamentos 13 (EP40AM60), 14 (EP50AM50) e 15 (EP60AM40),
- 5: tratamentos 7 (EM20EP20AR60), 8 (EM25EP25AR50) e 9 (EM30EP30AR40),
- 6: tratamentos 16 (EM20EP20AM60), 17 (EM25EP25AM50) e 18 (EM30EP30AM40).

Figura 43: Interferência da relação matriz/reforço na tração perpendicular à superfície

#### 6.1.6 Análise dos resultados dos ensaios físicos e mecânicos

Pela análise estatística, notou-se que nem todas as propriedades físicas e mecânicas apontaram o melhor ou o pior tratamento, já que os valores médios obtidos não apresentaram diferença significativa, como nos ensaios de densidade, módulo de elasticidade e tração perpendicular à superfície.

Os ensaios de inchamento em espessura e absorção de água após 2 horas de imersão, teor de umidade e módulo de ruptura, apontaram estatisticamente o tratamentos 6, seguido do tratamento 5, como o melhores resultados. Esses tratamentos são compostos por embalagens plásticas e casca de arroz, com relação matriz/reforço de 60/40 e 50/50, respectivamente.

O tratamento 6 foi o melhor resultado para absorção e inchamento após 24 horas de imersão.

O tratamento 10, composto por embalagem multilaminada e casca de amendoim, com relação matriz/reforço de 40/60, apresentou os piores resultados nos ensaios de teor de umidade, inchamento em espessura após 2 horas, absorção de água após 2 e 24 horas de imersão e MOR.

O pior desempenho entre os tratamentos para o inchamento em espessura após 24 horas de imersão foi obtido com o tratamento 2, composto por embalagem multilaminada e casca de arroz, com relação matriz/reforço de 50/50.

Ao julgar as propriedades físicas pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993), os resultados dos dezoito tratamentos são otimistas, com a classificação como painéis de média densidade e com valores aceitáveis de variação de inchamento em espessura, para os tratamentos 5 e 6.

Analisando a interferência das variáveis nos tratamentos notou-se que, na comparação dos tratamentos com casca de amendoim e casca de arroz, este último sempre esteve presente nos melhores resultados, com exceção daqueles resultados obtidos no ensaio de tração perpendicular à superfície.

O plástico foi, entre as matrizes empregadas, a que mais se destacou. Entre as proporções 40/50, 50/50 e 60/40 da relação matriz/reforço, esta última foi a mais relevante.

Diante do exposto, comprovou-se que os tratamentos 5 e 6 foram os melhores para a maioria das propriedades físicas e mecânicas e que, das variáveis estudadas, a carga de reforço foi a que mais interferiu nos bons resultados.

## 6.2 Ensaio nos melhores tratamentos

### 6.2.1 Densidade aparente e teor de umidade das partículas

As partículas de casca de arroz e embalagem plástica foram reavaliadas para confecção dos painéis dos melhores tratamentos. Os valores obtidos são resumidos na Tabela 17 e delineados no Apêndice 1.

Tabela 17: Resultados do estudo das partículas

<b>Propriedades avaliadas</b>	<b>AR</b>	<b>EP</b>
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,17	0,07
Teor de umidade (%)	10,19	0,53
Teor de umidade após 24 horas de secagem em estufa (%)	5,65	
Dimensão máxima do comprimento das partículas (mm)	2,40	

### 6.2.2 Painéis - densidade

Na análise dos dezoito tratamentos a densidade resultante foi menor do que a planejada. Assim sendo, optou-se pela reavaliação do ensaio de densidade em dois tratamentos (tratamentos 5 e 6). Pretendeu-se também, com a reavaliação do ensaio, retirar um maior número possível de amostras do painel.

No Apêndice 8 são apresentados os valores de densidade obtidos com a reavaliação do ensaio. As figuras apresentadas nesse apêndice apresentam as áreas de maior e menor densidade no painel, comprovando que, nas regiões extremas do painel a densidade sempre é menor devido à saída de material do colchão pelas bordas durante a prensagem.

Os valores médios de densidade, obtidos com a reavaliação do ensaio para os tratamentos 5 e 6, são apresentados na Tabela 18 e foram menores, em relação à primeira avaliação. Nota-se que os tratamentos 5 e 6, apresentaram, respectivamente, uma densidade média de 0,71 e 0,74 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 11) na primeira avaliação e na reavaliação apresentaram uma densidade média de 0,46 e 0,49 g/cm<sup>3</sup> (Tabela 18), embora repetindo-se as mesmas variáveis.

Os valores de densidade para os tratamentos reavaliados resultaram em painéis de baixa densidade pela norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993), podendo ser utilizados no enchimento de portas (Tabela 14).

Tabela 18: Valores médios de densidade

Média da densidade dos corpos-de-prova - tratamento 5 (g/cm <sup>3</sup> )						
<b>AO</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>
0,37	0,41	0,44	0,44	0,43	0,40	0,34
<b>B0</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>
0,40	0,54	0,52	0,51	0,51	0,46	0,37
<b>C0</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
0,42	0,53	0,54	0,51	0,54	0,49	0,39
<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>
0,43	0,54	0,55	0,56	0,54	0,50	0,39
<b>E0</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>
0,40	0,53	0,54	0,55	0,54	0,49	0,40
<b>F0</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>
0,39	0,53	0,51	0,54	0,51	0,47	0,35
<b>G0</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>	<b>G6</b>
0,32	0,36	0,38	0,39	0,39	0,37	0,28
Média-tratamento 5: 0,46						
Média da densidade dos corpos-de-prova - tratamento 6 (g/cm <sup>3</sup> )						
<b>AO</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>
0,30	0,42	0,46	0,46	0,41	0,36	0,29
<b>B0</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>
0,40	0,51	0,55	0,57	0,56	0,52	0,42
<b>C0</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
0,44	0,55	0,58	0,59	0,58	0,56	0,44
<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>
0,46	0,56	0,59	0,60	0,61	0,57	0,48
<b>E0</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>
0,41	0,55	0,58	0,59	0,62	0,58	0,43
<b>F0</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>
0,43	0,48	0,54	0,56	0,60	0,57	0,42
<b>G0</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>	<b>G6</b>
0,32	0,39	0,42	0,43	0,45	0,42	0,30
Média-tratamento 6: 0,49						

### 6.2.3 Painéis – módulo de elasticidade

Os tratamentos 6 e 5 tiveram os maiores valores de módulo de ruptura. Reavaliou-se o módulo de elasticidade com um maior número de corpos-de-prova por painel. A análise de variância dos tratamentos reavaliados encontram-se no Apêndice 9.

Os valores obtidos na reavaliação de MOE encontram-se no Apêndice 10, bem como uma exemplificação do relatório de ensaio de flexão. Nas tabelas 19 e 20 apresentam-se os valores médios de módulo de elasticidade para os tratamentos 5 e 6, respectivamente.

A reavaliação dos valores do módulo de elasticidade resultou em valores inferiores à avaliação inicial (Tabela 13).

No tratamento 5, o teste das médias não indicou diferença significativa entre as repetições. Essa diferença apenas aconteceu entre as repetições 2 e 7.

Na Tabela 20 observou-se que a amostra 10 diferiu significativamente das amostras 8, 3 e 1. As demais repetições não apresentaram diferença significativa.

Os valores de módulo de elasticidade nos corpos-de-prova das extremidades dos painéis apresentaram valores inferiores, conforme pode ser verificado na tabela do Apêndice 10.

Tabela 19: Valores médios de módulo de elasticidade - Tratamento 5

Repetições	MOE (MPa)	Desvio padrão
1	94,88 <b>ab</b>	17,75
2	167,37 <b>a</b>	63,96
3	109,47 <b>ab</b>	38,41
4	111,76 <b>ab</b>	41,39
5	106,22 <b>ab</b>	58,08
6	136,41 <b>ab</b>	40,17
7	70,29 <b>b</b>	39,12
8	83,16 <b>ab</b>	64,99
9	76,84 <b>ab</b>	21,01
10	74,36 <b>ab</b>	26,46

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferença estatística, com nível de significância de 5%.

Tabela 20: Valores médios de módulo de elasticidade - Tratamento 6

Repetições	MOE (MPa)	Desvio padrão
1	67,85 <b>b</b>	17,80
2	91,85 <b>ab</b>	37,66
3	62,10 <b>b</b>	53,56
4	102,02 <b>ab</b>	30,71
5	103,98 <b>ab</b>	29,87
6	85,34 <b>ab</b>	30,30
7	87,95 <b>ab</b>	27,25
8	59,05 <b>b</b>	27,92
9	124,56 <b>ab</b>	24,54
10	144,06 <b>a</b>	39,33

Nas colunas, os valores seguidos da mesma letra não apresentam diferença estatística, com nível de significância de 5%.

#### 6.2.4 Painéis - distribuição em tamanho das partículas de casca de arroz

Os resultados obtidos estão expressos na Tabela 21. Por essa tabela verificou-se que a dimensão máxima das partículas de casca de arroz (Figura 44), de acordo com a NBR 7217/87, é de 2,40 mm (peneira n.º 8) e apresenta um módulo de finura de 3,16.

A norma NBR 7217/87 recomenda a utilização de valores inteiros para as porcentagens (porcentagem retida, porcentagem retida acumulada e porcentagem que passa na peneira). Particularmente para a casca de arroz, os valores da porcentagem retida são muito pequenos. Assim sendo, fez-se a determinação dos mesmos considerando três casas decimais.

Após a análise da distribuição em tamanho das partículas de casca de arroz, deduziu-se que o módulo de elasticidade pode não ter alcançado os valores mínimos almejados por não ter sido feito um peneiramento inicial ao experimento. O peneiramento eliminaria as partículas mais finas que possivelmente não propiciaram boa aderência entre as partículas, afetando a rigidez do material.

Haselein et al. (2002) concluíram que partículas maiores melhoram as propriedades de flexão estática. Constatou-se, após o estudo do perfil de densidade, que uma das faces do painel (possivelmente onde as partículas mais finas se adensavam) apresentou valores de densidades menores.

Tabela 21: Resultados médios da distribuição em tamanho das partículas de duas amostras de casca de arroz

Polegada/n.º	Peneira	Porcentagem		
		Retida	Retida Acumulada	Que passa na peneira
1/4"	mm			
Nº 4	6,3	0,067	0,067	99,933
Nº 6	4,8	0,067	0,134	99,866
Nº 8	3,36	0,100	0,234	99,766
Nº 10	2,40	2,667	2,901	97,099
Nº 30	2,00	11,000	13,901	86,099
Nº 40	0,60	85,632	99,533	0,467
Nº 60	0,42	0,267	99,800	0,200
Fundo	0,25	0,167	99,967	0,033
	0,03	100,000	0,000	





Figura 44: Distribuição em tamanho da casca de arroz

#### 6.2.5 Painéis – perfil de densidade

Os ensaios para a determinação do perfil de densidade indicam se os parâmetros operacionais adotados, na confecção dos painéis, foram adequados. Problemas como baixa ou alta temperatura no interior do painel, baixa ou alta temperatura dos pratos da prensa, tempo de prensagem insuficiente ou em excesso, cura insuficiente devido à baixa ou alta umidade do colchão, podem ser detectados a partir desse ensaio. Quando esses problemas são detectados, o perfil apresenta como característica principal a ocorrência de quedas bruscas, com aparência de “vale” no ponto mínimo.

A Figura 45 apresenta um perfil de densidade de uma chapa de fibras MDF produzida pela unidade fabril da Duratex, na cidade de Agudos, apropriado aos fins específicos. Nota-se que a forma predominante desse perfil é de “U”, com diferença entre os valores médios e mínimos de densidade considerados bons.

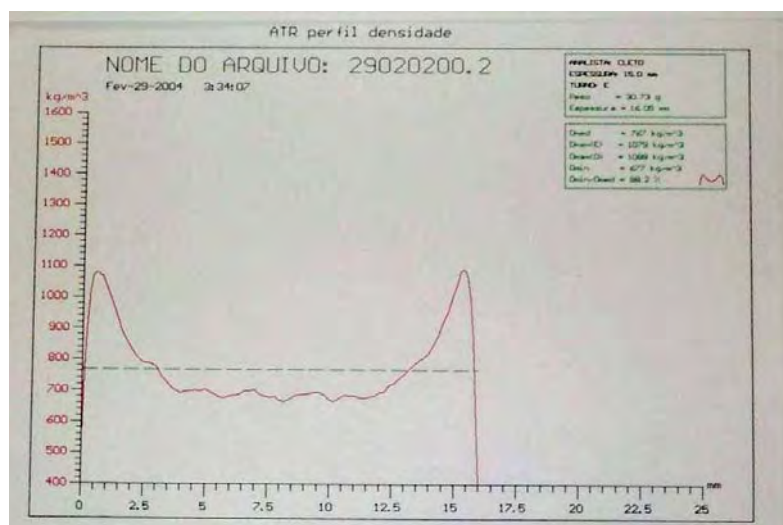
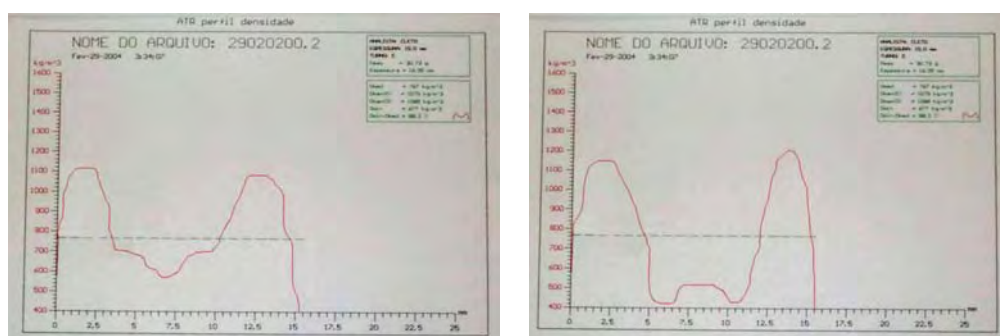


Figura 45: Perfil de densidade de uma chapa de fibras MDF produzida pela indústria Duratex

A Figura 46 apresenta duas situações de perfil de densidade de uma chapa, em que a Figura 46(a) detecta problemas como baixa temperatura no interior do painel, baixa temperatura da prensa, tempo de prensagem insuficiente ou curto período de prensagem.

Já na figura 46(b), o problema detectado deve-se à cura inadequada, possivelmente devido à baixa umidade do colchão e, por consequência, a baixa transferência de calor ao interior do colchão.



a) Perfil com aparência de “vale”

b) Perfil com diferença relevante entre valores de densidade média e mínima

Figura 46: Perfis de densidade de chapas Duratex

Das amostras ensaiadas, verifica-se que os resultados (Figuras 47 a 52) refletem diferenças tênues entre os valores médios e mínimos de densidade, indicando pertinência no ciclo de prensagem, embora com ressalva ao reduzido número de corpos-de-prova ensaiados.

O perfil da amostra D1 do tratamento 5 (Figura 47) não apresentou um perfil semelhante a “U”, apresentando valor de densidade máximo e mínimo mais baixo em relação às outras amostras ensaiadas. Isso indica que houve a cura do adesivo (plástico) antes do fechamento da prensa.

Comparando-se as amostras do tratamento 5 (Figuras 47, 48 e 49) com as do tratamento 6 (Figuras 50, 51 e 52), nota-se que essas últimas tiveram um comportamento mais próximo do perfil de chapas de fibras (Figura 45), indicando o melhor desempenho desse tratamento.

Com exceção da amostra D1 do tratamento 5, as amostras apresentaram valores superiores de densidade na face inferior, conforme pode ser observado na Tabela 22, comparando-se o Dmáx (E) com Dmáx (D).

Tabela 22: Valores obtidos no ensaio de perfil de densidade

Amostra/Tratamento	Dméd (kg/m <sup>3</sup> )	Dmáx-E (kg/m <sup>3</sup> )	Dmáx-D ( kg/m <sup>3</sup> )	Dmín (kg/m <sup>3</sup> )	Dmín/Dméd (%)
D1/5	559	726	684	458	82,1
D3/5	635	795	816	562	88,5
E4/5	638	809	868	568	89,0
D1/6	592	825	886	503	84,8
D3/6	637	839	888	530	83,1
E4/6	681	873	916	562	82,6
Duratex	767	1079	1084	627	88,2

A Tabela 22 apresenta valores de Dméd que representam a densidade média do painel, Dmáx (E) que representa a densidade máxima à esquerda (face superior do painel), Dmáx (D) que representa a densidade máxima à direita (face inferior do painel), Dmín que representa a densidade mínima do painel e a relação Dmín/Dméd. Para uma análise comparativa, a Tabela 22 apresenta também os valores de densidade de uma chapa produzida pela Duratex.

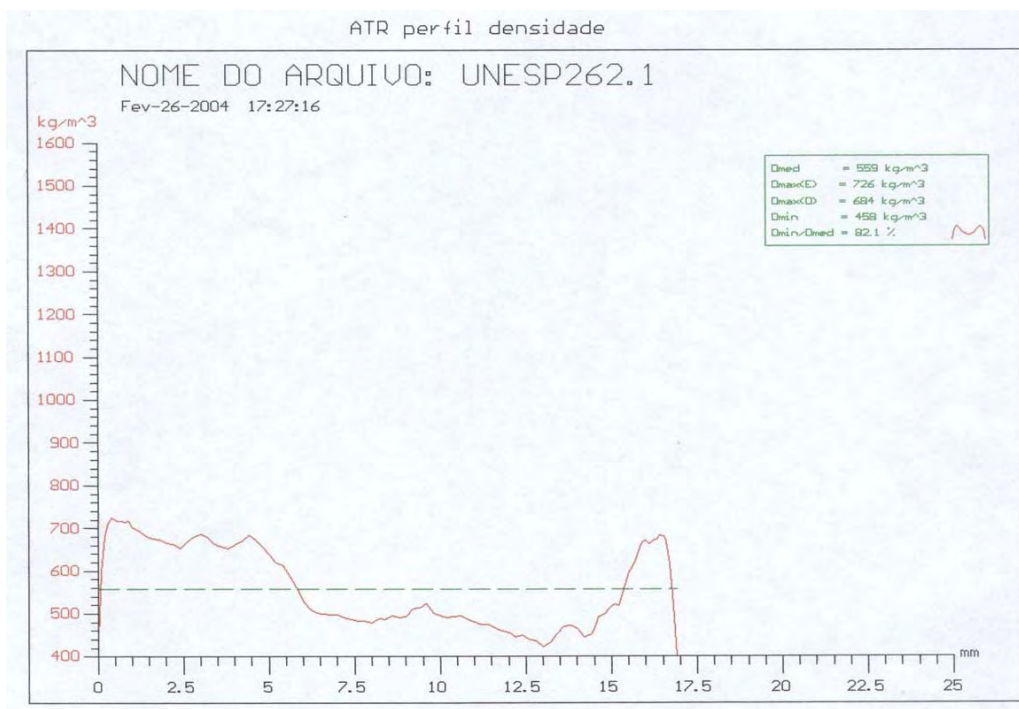


Figura 47: Perfil de densidade da amostra D1, do tratamento 5

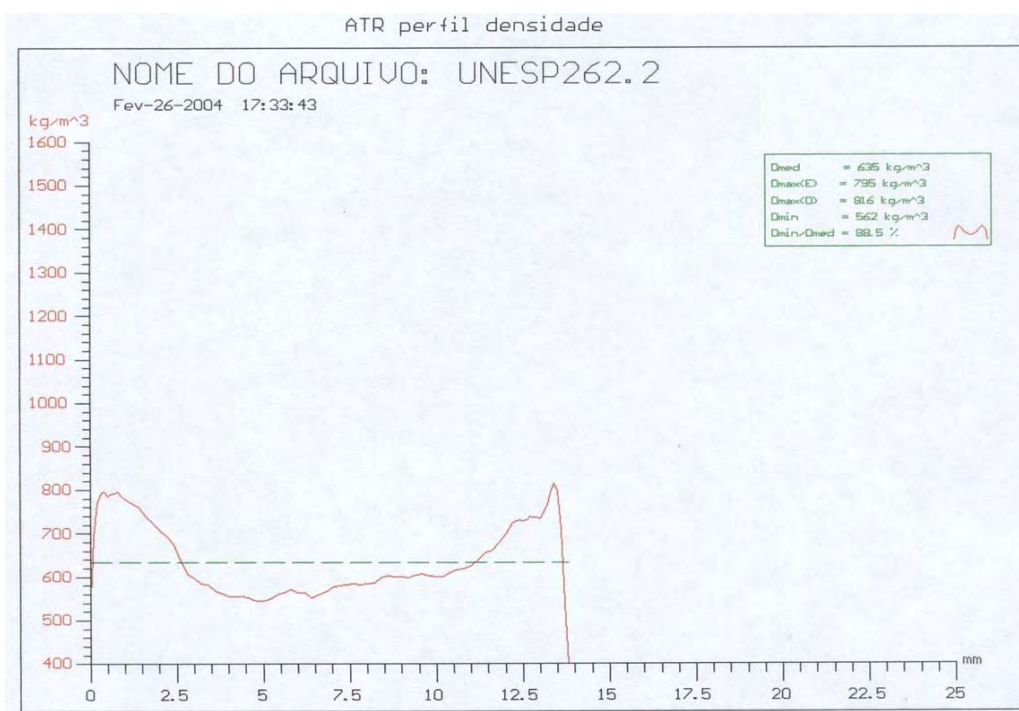


Figura 48: Perfil de densidade da amostra D3 do tratamento 5

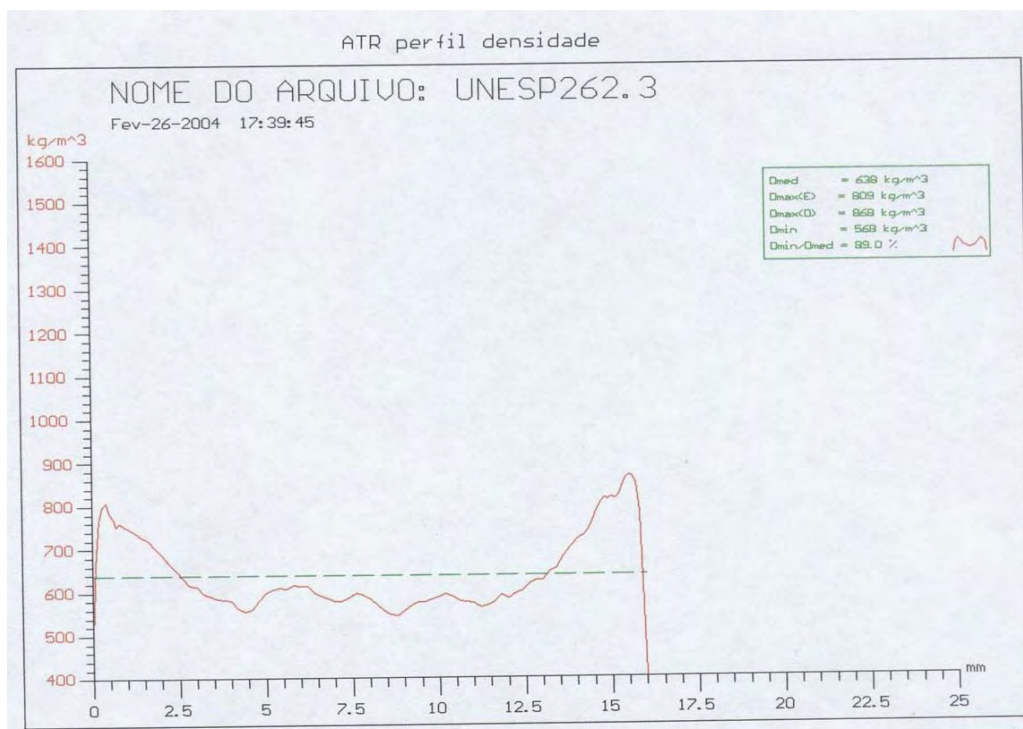


Figura 49: Perfil de densidade da amostra E4 do tratamento 5

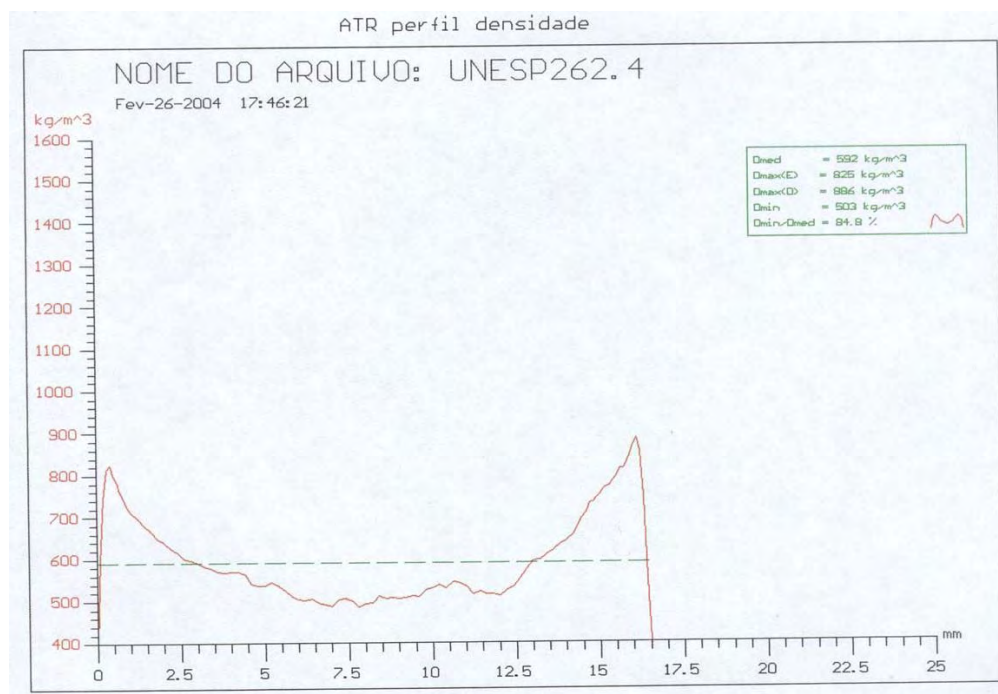


Figura 50: Perfil de densidade da amostra D1 do tratamento 6



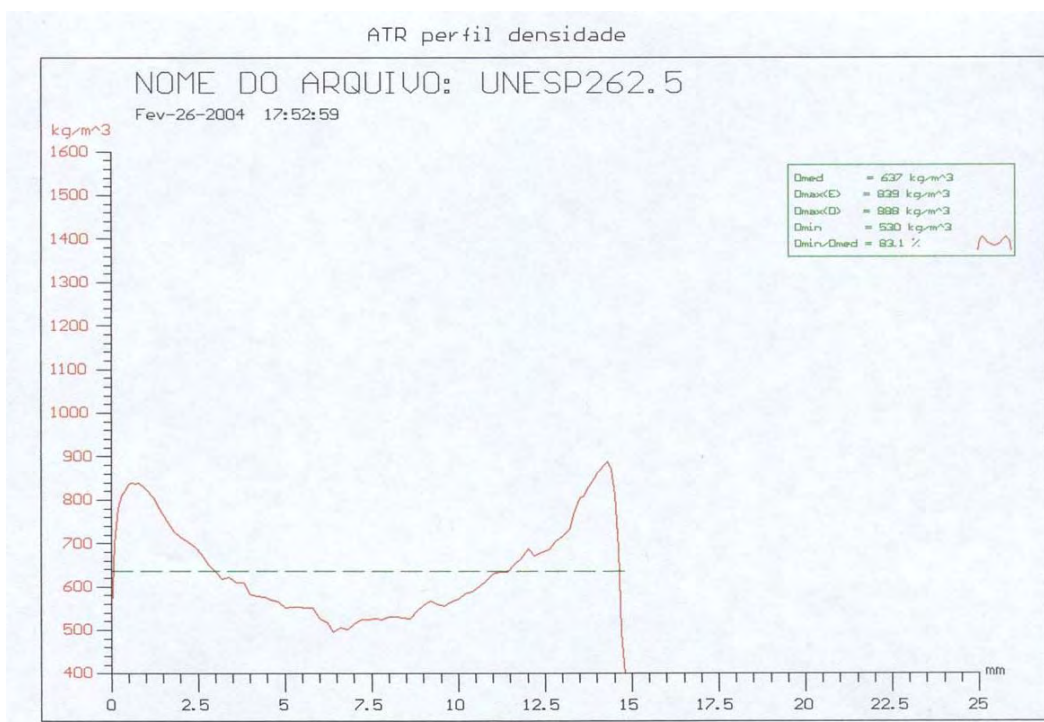


Figura 51: Perfil de densidade da amostra D3 do tratamento 6

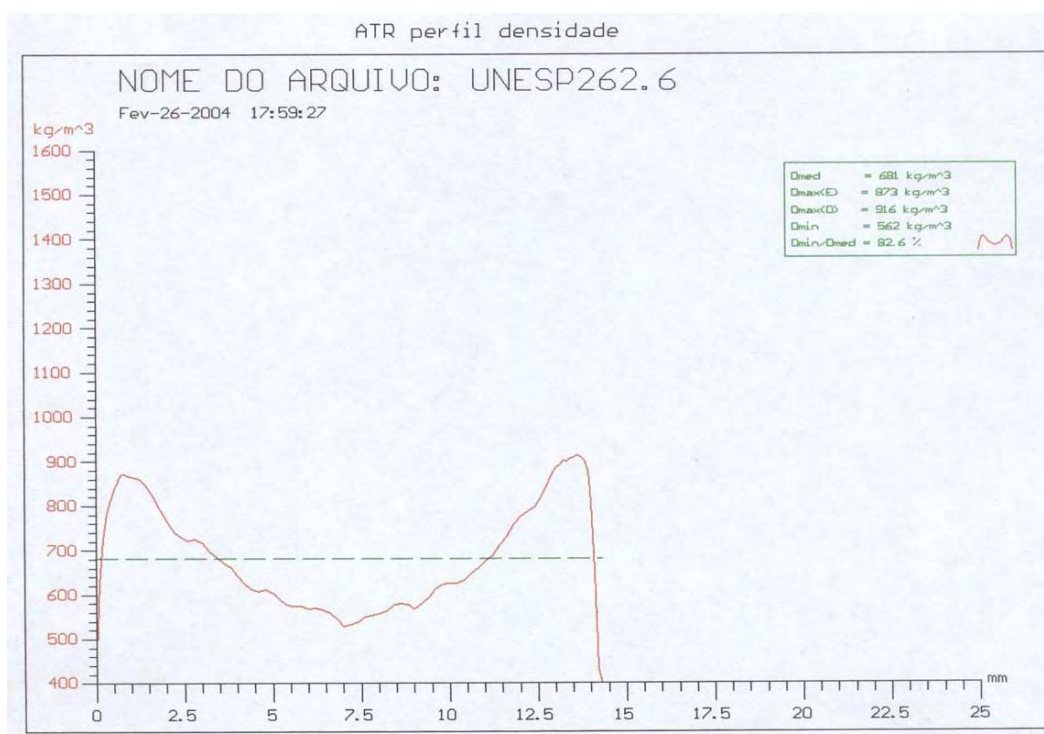


Figura 52: Perfil de densidade da amostra E4 do tratamento 6

#### 6.2.6 Painéis – exposição ao intemperismo artificial

O ensaio de exposição ao intemperismo artificial foi realizado somente com o tratamento 5. O resultado do ensaio pode ser observado na Figura 53, indicando os corpos-de-prova na condição original (primeiro corpo-de-prova a esquerda) e após exposição.

Segundo o relatório enviado pelo IPT, o material exposto ao intemperismo artificial, avaliado a olho nu, apresentou as seguintes características:

- isento de trincas, bolhas, fissuras, empenamentos, delaminação;
- alteração acentuada na região exposta, da coloração original para o branco, mantendo-se inalterados alguns pontos isolados na superfície.



Figura 53: Corpos-de-prova na condição original e após exposição ao intemperismo artificial

Os polímeros são susceptíveis à degradação proveniente de intemperismo devido à reações fotoquímicas. Essas reações podem comprometer a vida útil do material.

O material ensaiado referente ao tratamento 5 (60% de embalagem plástica e 40% de casca de arroz) manteve sua estrutura física, indicando uma vida útil considerável, porém sofreu alteração acentuada na cor. Esse problema pode ser evitado com o uso de agentes foto-estabilizantes protetores de superfície.

## 7. CONCLUSÃO

Os tratamentos que alcançaram os melhores resultados foram aqueles compostos por embalagens plásticas e casca de arroz, nas proporções 50/50 e 60/40. Esses tratamentos apresentaram resultados que atenderam à norma ANSI A208-1 (ANSI, 1993), em relação à densidade, inchamento, tração perpendicular à superfície e MOR.

Os dezoito tratamentos permitiram obter painéis de média densidade. Para as propriedades mecânicas os parâmetros da norma ANSI A208.1 (ANSI, 1993) classificam os painéis como de baixa densidade. Com esses parâmetros, os painéis produzidos no presente trabalho podem ser utilizadas como: divisórias, forros, enchimento de portas, objetos, revestimento decorativo, dentre outras funções que requeiram as mesmas propriedades físicas e mecânicas.

Os tratamentos que apresentaram melhor desempenho utilizaram casca de arroz como carga de reforço, as embalagens plásticas como matriz e a relação matriz/reforço de 60/40. A presença de 60% de termoplástico nesses tratamentos indicou a possibilidade dos mesmos serem reciclados, especialmente pelo processo de extrusão.

A tecnologia de produção de painéis tendo como matéria-prima resíduos sólidos urbanos representam um novo mercado potencial. Diante dos resultados promissores alcançados no presente estudo, concluiu-se que resíduos agroindustriais podem ter alternativas mais rentáveis à sua utilização, contrapondo-se as aplicações tradicionais. Concluiu-se



também que as embalagens pré e pós-consumo são fontes de matérias-primas para a produção de materiais alternativos na arquitetura.

O elemento arquitetônico desenvolvido nesse estudo, feito a partir de matérias-primas facilmente disponíveis, pode ser empregado no ambiente urbano e rural, atendendo ao conceito de produto ecoeficiente.

Como proposta de continuidade do trabalho, sugere-se a produção de painéis de partículas de embalagens plásticas e casca de arroz, variando-se tempo e pressão de prensagem ou substituindo embalagens pós-consumo de polietileno de baixa densidade para de polietileno de alta densidade.

## 8-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>1</sup>

ADAM, R. S. **Princípios do ecoedifício**: interação entre ecologia, consciência e edifício. São Paulo: Aquariana, 2001.157 p.

AGUIAR, M. **O uso de polímeros reciclados e recicláveis na construção civil**. 2001.160 f. Tese (Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas)-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ALBUQUERQUE, C. E. C. et al. Diagnóstico da variação do conteúdo de umidade da madeira no processo de produção de chapas de madeira aglomerada. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, n.1, p. 121-128, 2000.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE . **ANSI A208.1-1993**: mat-formed wood particleboard: Specification. Gaithersburg: National Particleboard Association, 1993. p.1-9.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037-90**: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia: Anual Book of ASTM Standards, v.04.09 Wood, 1996. 30 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2565-99**: standard practice for xenon-arc exposure of plastic intended for outdoor applications. Philadelphia: Anual Book of ASTM Standards, v.08.01, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7217**: agregados: determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

---

<sup>1</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: Informação e documentação - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987. 71p.

BAHIANA, C., **A importância do design para sua empresa**. Brasília: CNI. 1998.56 p.  
BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Painéis de madeira reconstituída**. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/relato02.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2004.

BAXTER, M. **Projeto de produto**: guia prático para o desenvolvimento de novos produtos. 2.ed. rev. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 259 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Produtos e empresas ecoeficientes**. Disponível em: <<http://mma.gov.br/port/sds/pesquisa.html>>. Acesso em: 12 set. 2004.

BRINHOLI, O. **Cultura do amendoim**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas-UNESP, 1993, p.9-10

CALDERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. São Paulo: Humanitas Editora, 1997. 343 p.

CAMPOS, C. I., LAHR, F. A. R. 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**, Rio de Janeiro, 1, trimestre, 2004. Disponível em: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10592/index.htm>. Acesso em 25 set.2004.

CARASCHI, J. C., LEÃO, A. L. Reciclagem de embalagens cartonadas para produção de compósito. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 5. 1999. **Trabalhos apresentados...** Águas de Lindóia: ABPol, 1999. p. 1661-1664.1 CD-ROM.

CASA ecológica é destaque em feira internacional. **The wood industry magazine=Revista Referência**, Curitiba. 5, ed. 27, p.70, out. 2003.

CERTIFICAÇÃO de madeiras cria novo e promissor mercado. **Wood Magazine=Revista da Madeira**, Curitiba, ano 4, p. 20-21, 1999.

CHAMMA, P. V. C, HILÁRIO, K. C. Desperdício de papel e embalagens em resíduos sólidos urbanos. **O Papel**, São Paulo, n.8, p. 73, ago. 2004.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Ciclosoft-2004**. Disponível em: <[http://www.cempre.org.br/ciclosoft\\_2004.php](http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2004.php)>. Acesso: 12 set. 2004.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Ciclosoft-2004**. Disponível em: < [http://www.cempre.org.br/2004-0304\\_capa.php](http://www.cempre.org.br/2004-0304_capa.php)> Acesso: 12 set. 2004.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Embalagens cartonadas longa vida**. 6. ed. São Paulo, 2001. (Ficha técnica, n. 10).

D'ALMEIDA, M. L. O, VILHENA, A. (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 2. ed. rev. e amp. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Compromisso Empresarial para a Reciclagem, 2000. 370 p.

DELLA, V. P., KÜHN, I., HOTZA, D. Caracterização de cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratários de sílica. **Química Nova**, São Paulo, v. 24, n.6, p.778-782, 2001.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 2000. 120 f. Dissertação (Mestre em Ciências-Ciência e Tecnologia de Madeiras)-Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 319: particleboards and fiberboards-determination of internal adhesion**. Bruxelas, 1993.5p.

FERRÃO, P. C. **Introdução à gestão ambiental: a avaliação do ciclo de vida de produtos**. Lisboa: IST, 1998. 219 p.

FERRÃO, P. C., FIGUEIREDO, J. M. **A ecologia industrial e o automóvel em Portugal**. Oeiras: Celta, 2000, 268 p.

FONSECA, H. et al. **Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. São Paulo, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. Coordenadoria da Indústria e Comércio. v.1, p. 17-33, 1980.

FORLIN, F., FARIA, J. A. F., Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: ciência e tecnologia**, São Carlos, n. 1 v. 12, p. 1-10, 2002.

FREIRE, W. J., BERALDO, A. L. (Coord.) **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. Campinas: Ed. UNICAMP, 2003, 331 p.

GURJAR, R. M. Effect of different binders on properties of particle board from cotton seed hulls with emphasis on water repellency . *Bioresource Technology*, Essex, v.43, p. 177-178, 1993.

HASELEIN, C. R. et al. Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 127-134, 2002.

HILLIG, E., HASELEIN, C. R., SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p. 59-70, 2002.

IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola-2003**. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?z=t&o=10>). Acesso em: 12 jul. 2004.

IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico-2000** Disponível em: < [http://ibge.net/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo\\_coletado/defaultlixo.shtm](http://ibge.net/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb/lixo_coletado/defaultlixo.shtm)>. Acesso em: 12 jul. 2004.

IBGE. **População estimada**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/disseminacao/online/popclock/popclock.php>> Acesso em: 3 set. 2004.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA. **Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil: conceito e teoria**. São Paulo, 18 p., 2004. Apostila do Curso Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil.

INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA. **Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil: construção sustentável e ecoprodutos**. São Paulo 33 p. 2004. Apostila do Curso Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm. com inclusão laminar. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 86-94, 1999.

IWAKIRI, S. et al. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 251-256, 2000.

LARA PALMA, H. A. **Tecnologia de produção de chapas de partículas**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Departamento de Recursos Naturais. 2003. 58 p. Apostila da Disciplina do Curso de Engenharia Florestal: Painéis de Madeira.

LEÃO, A. L. **Viabilidade técnica da produção de compósito não estruturais à base de lignocelulósicos**. 1997. 144 f. Tese (Livre Docente em Recursos Naturais Renováveis)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 195 p.

MANRICH, S., FRATINNI, G., ROSALINI, A. C. **Identificação de polímeros: uma ferramenta para a reciclagem**. São Carlos: EDUSFSCar, 1997, 49 p.

MARUBAYASHI, O. M. **Respostas de linhagens e cultivares de amendoim (*Arachis Hypogaea* L.) à adubação fosfatada**. 1993. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1993.

MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais waferboards**. 1988. 164 f. Dissertação (Mestre em Ciências)-Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MORAES, D. **Limites do Design**. 2. ed., São Paulo: Studio Nobel, 1999, 164 p.

NEVES, F. L. A reciclagem de embalagens cartonadas TetraPak. **Limpeza Pública**, São Paulo, ed. 53, p. 24-31, out. 1999.

NOVAS resinas no mercado. **The wood industry magazine=Revista Referência**, Curitiba, ano 5, ed. 27, p.54, out. 2003.

OLIVEIRA, S., PASQUAL, A. A problemática dos resíduos sólidos urbanos. In: SIMPOLIX/UNESP, 1., 2000, São Pedro. **Resumos...**São Pedro:UNESP, 2000. p. 57-60.

PABLO, A. A., PEREZ, E. B., ELLA, A. B. Development of particleboard on a pilot-plant and semi-commercial scale using plantation and secondary wood species and agricultural fibrous waste materials. Laguna . Forest Products Research and Industries Development Commission, Philippines, University of the Philippines, College of Forestry, 1975.

PAIVA, J. M. F., **Compósito de matriz termofixa fenólica reforçada com fibras vegetais**. 2001. 266 f. Tese (Doutorado em Engenharia dos Materiais)-Universidade Estadual de São Paulo, São Carlos, 2001.

PAIVA, J. M. F., TRINDADE, W. G., FROLLINI, E. Compósito de matriz termofixa fenólica reforçada com fibras vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 5, 1999. **Trabalhos apresentados...** Águas de Lindóia: ABPol, 1999. p. 699-704. 1 CD-ROM.

PANDEY, S. N., DAS, R. N., DAY, A. Particle board from jute stick and its lamination - a new process . **Research and Industry: a journal for entrepreneurs and technologists**, New Delli, v. 35, p. 227-229, 1990.

RAMPOZZO, S. E., SPONCHIADO, M. O uso da madeira de reflorestamento na construção civil com enfoque na habitação. **Revista de Pesquisa e Pós-Graduação**, Erechim, n.1, p.131-146, 2000.

REMÉDIO, M. **Estudo da viabilidade de reciclagem de plásticos em forma de filme provenientes do rejeito de uma usina de reciclagem de resíduos sólidos urbanos**. 1999. 160 f.. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais)-Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1999.

RIBEIRO, T. R. A. A. **Estudo da utilização de embalagens multifoliadas para produção de painéis**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.

ROCHA, K. G. et al. Recuperação de embalagens multicamadas provenientes do resíduos sólido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 5., 1999. **Trabalhos apresentados...** Águas de Lindóia: ABPol, 1999. p 1666-1669. 1 CD-ROM.

SAMPATHRAJAN, A , VIJAYARAGHAVAN, N. C., SWAMINATHAN, K. R. Acoustic aspects of farm residue-based particle boards . **Bioresource Technology**, Essex, v. 35, p. 67-71, 1991.

SARTORI, M. M. P. **Otimização da produção de energia e biomassa do resíduo de colheita em variedades de cana-de-açúcar.** 2001. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SAVASTANO, R. M., Embalagens: estudo inédito no Brasil mostra impactos no meio ambiente e propõe soluções. **O Papel**, São Paulo, n. 2, p. 46-52, fev. 2001.

SCAN-BULK Density. **SCAN-CM 46:** pulp, paper and board. Scandinavian, 1992.

SHUPE, T. F. et al. Effect of silvicultural practice and wood type on loblolly pine particleboard and medium density fiberboard properties. **Holzforschung**, Berlim, v.53, n. 2, p. 215-222, 1999.

SOUZA, M. F., YAMAMOTO, J. Mulita a partir de hidróxido de alumínio e de sílica de casca de arroz. **Cerâmica**, São Paulo, v. 45, n. 291, p. 34-37, 1999.

TEIXEIRA, D. E., COSTA, F., SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 5, p. 29-34, 1997.

THEMEN, J. I., **Secagem complementar de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) com uso de temperatura próxima a do ambiente.** 1998. 72 f.. Tese (Doutorado em Agronomia-Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.

ÚLTIMOS anos registram crescimento nos índices de vários materiais. **CEMPRE informa**, São Paulo, ano 9, n. 57, 2001.

VALDES, J. L., RODRIGUEZ, M. E., SOSA, P. Bagasse particle boards: qualitative and use aspects. **Revista ICIDCA Sobre los Derivados de la Cana de Azucar**, La Habana, v. 25, n. 3, p. 22-26, 1991.

VENZKE, C. S. **A situação do ecodesign em empresas da região de Bento Gonçalves, RS: análise da postura e das práticas ambientais.** 2002. 125 f. Dissertação (Mestrado em Administração)-Escola de Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

VERÇOZA, E. J. **Materiais de construção**. 4. ed. Porto Alegre: Sagra, 1987, v. 2, 196 p.

YOUNGQUIST, J. A. et al. **Literature review on use of nonwood plant fibers for building materials and panels**. Madison: Forest Products Laboratory, 1994. 146 p.



## 9-APÊNDICES

Apêndice 1- Densidade aparente e do teor de umidade das partículas.....	118
Apêndice 2 - Teores de umidade das amostras do colchão por tratamento .....	119
Apêndice 3- Análise de Variância em experimentos inteiramente casualizados sem transformações para as propriedades físicas.....	120
Apêndice 4 - Valores das propriedades físicas.....	122
Apêndice 5- Análise de Variância em experimentos inteiramente casualizados sem transformações para as propriedades mecânicas.....	125
Apêndice 6- Valores das propriedades mecânicas.....	126
Apêndice 7- Norma ANSI A208.1-1993.....	130
Apêndice 8- Valores de densidade para os tratamentos 5 e 6.....	131
Apêndice 9- Análise de Variância em experimentos inteiramente casualizados sem transformações dos tratamentos 5 e 6 para flexão estática (MOE).....	136
Apêndice 10: Valores obtidos na reavaliação do ensaio de flexão estática (MOE) e de densidade em $\text{g/cm}^3$ , para os tratamento 5 e 6.....	137

# Apêndice 1: Densidade aparente e do teor de umidade das partículas

## a) Densidade aparente das partículas

Repetições	Casca de arroz		Casca de amendoim		Embalagem multilaminada		Embalagem plástica		Embalagem plástica (*)	
	Massa (g)	Densid. (g/cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densid. (g/cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densid. (g/cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densid. (g/cm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Densid. (g/cm <sup>3</sup> )
1	11,00	0,16	13,50	0,20	6,20	0,09	4,10	0,06	4,80	0,07
2	11,10	0,17	13,60	0,20	6,20	0,09	4,10	0,06	4,80	0,07
3	11,10	0,17	13,60	0,20	6,20	0,09	4,10	0,06	4,70	0,07
4	11,00	0,16	13,60	0,20	6,10	0,09	4,10	0,06	4,70	0,07
5	11,10	0,17	13,50	0,20	6,10	0,09	4,00	0,06	4,80	0,07
Média	11,06	0,17	13,56	0,20	6,16	0,09	4,08	0,06	4,76	0,07
Desvio médio	0,048	0,05	0,048	0,00	0,048	0,00	0,032	0,00	0,048	0,00

(\*) Reavaliação da densidade aparente das partículas.

## b) Teor de umidade das partículas

	Casca de arroz	Casca de amendoim	Embalagem multilaminada	Embalagem plástica	Embalagem plástica (*)
	10,35	10,12	3,34	0,64	0,54
	10,14	10,08	3,78	0,58	0,55
	9,85	10,45	3,46	0,73	0,51
	10,26	10,13	3,31	0,67	0,49
	10,34	10,14	3,23	0,56	0,58
Média	10,19	10,18	3,42	0,64	0,53
Desvio padrão	0,18	0,13	0,19	0,06	0,03

(\*) Reavaliação do teor de umidade das partículas .

## c) Teor de umidade das partículas após secagem em estufa

	Casca de arroz	Casca de arroz (*)	Casca de amendoim	Embalagem multilaminada
	5,56	5,66	6,76	2,05
	5,45	5,45	6,54	2,12
	5,74	5,63	6,43	1,87
	5,65	5,68	6,82	1,95
	5,43	5,90	6,47	2,34
Média	5,57	5,66	6,60	2,07
Desvio padrão	0,12	0,14	0,16	0,16

(\*) Reavaliação do teor de umidade das partículas

## Apêndice 2: Teor de umidade das amostras do colchão por tratamento

Tratamento	Código	Rep 1 (%)	Rep 2 (%)	Rep 3 (%)	Desvio Padrão	Média (g)
<b>EM40AR60</b>	1	2,66	6,18	4,30	1,76	4,38
<b>EM50AR50</b>	2	6,02	5,99	5,52	0,28	5,84
<b>EM60AR40</b>	3	1,71	6,55	4,53	2,43	4,26
<b>EP40AR60</b>	4	3,84	3,88	1,88	1,14	3,20
<b>EP50AR50</b>	5	1,67	3,17	1,24	1,01	2,03
<b>EP60AR40</b>	6	2,55	1,19	0,35	1,11	1,36
<b>EM20EP20AR60</b>	7	4,98	4,40	4,40	0,33	4,59
<b>EM25EP25AR50</b>	8	3,42	4,77	0,08	2,41	2,76
<b>EM30EP30AR40</b>	9	2,77	4,50	0,10	2,22	2,46
<b>EM40AM60</b>	10	2,94	3,04	2,76	0,14	2,91
<b>EM50AM50</b>	11	3,46	3,59	3,29	0,15	3,45
<b>EM60AM40</b>	12	4,76	3,78	2,76	1,00	3,77
<b>EP40AM60</b>	13	1,96	3,16	1,55	0,84	2,22
<b>EP50AM50</b>	14	1,98	1,95	1,77	0,11	1,90
<b>EP60AM40</b>	15	2,04	1,23	1,70	0,41	1,66
<b>EM20EP20AM60</b>	16	2,36	4,87	3,61	1,26	3,61
<b>EM25EP25AM50</b>	17	3,37	5,15	1,86	1,65	3,46
<b>EM30EP30AM40</b>	18	3,20	3,86	3,30	0,36	3,45
<b>Média</b>		3,09	3,96	2,50	0,73	3,18

Apêndice 3: Análise de Variância em experimentos inteiramente casualizados-sem transformações para as propriedades físicas

a) Umidade

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	17	560.328700	32.960512	3.29	0.0001
Resíduo	90	902.531467	10.028127		
Total	107	1462.860167			
C.V.=46.07					
D.P.=3.17					
Média=6.87					

b) Densidade

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	17	0.13792408	0.00811318	0.88	0.5990
Resíduo	90	0.83019017	0.00922434		
Total	107	0.96811425			
C.V.=13.34					
D.P.=0.10					
Média=0.72					

c) Inchamento após 2 horas de submersão

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	17	17503.29911	1029.60583	33.10	0.0001
Resíduo	90	2807.37593	31.19307		
Total	107	20310.67504			
C.V.=26.85					
D.P.=5.65					
Média=21.04					

d) Absorção após 2 horas de submersão

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	17	78962.54721	4644.8557	9.82	0.0001
Resíduo	90	42560.6102	472.8957		
Total	107	121523.1574			
C.V.=31.43					
D.P.=20.00					
Média=63.63					

## e) Inchamento após 24 horas de submersão

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamento</b>	17	24180.85225	1422.40307	20.52	0.0001
<b>Resíduo</b>	90	6238.20265	69.31336		
<b>Total</b>	107	30419.05490			
<b>C.V.=98.46</b>					
<b>D.P.=4.19</b>					
<b>Média=4.26</b>					

## f) Absorção após 24 horas de submersão

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamento</b>	17	78067.78620	4592.2227	11.57	0.0001
<b>Resíduo</b>	90	35723.2277	396.9248		
<b>Total</b>	107	113791.0139			
<b>C.V.=82.04</b>					
<b>D.P.=7.23</b>					
<b>Média=8.82</b>					

## Apêndice 4: Valores das propriedades físicas

## a) Densidade

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) g/cm <sup>3</sup>	CP 2 (Rep 1) g/cm <sup>3</sup>	CP 1 (Rep 2) g/cm <sup>3</sup>	CP 2 (Rep 2) g/cm <sup>3</sup>	CP 1 (Rep 3) g/cm <sup>3</sup>	CP 2 (Rep 3) g/cm <sup>3</sup>	Desvio Padrão	Média g/cm <sup>3</sup>	C.V. %
EM40AR60	1	0,59	0,54	0,62	0,64	0,88	0,97	0,17	0,71	23,94
EM50AR50	2	0,82	0,89	0,74	0,65	0,65	0,76	0,09	0,75	12,00
EM60AR40	3	0,67	0,64	0,73	0,74	0,76	0,84	0,07	0,73	9,59
EP40AR60	4	0,59	0,53	0,75	0,76	0,66	0,83	0,11	0,69	15,94
EP50AR50	5	0,75	0,74	0,61	0,64	0,78	0,71	0,07	0,71	9,86
EP60AR40	6	0,77	0,77	0,78	0,73	0,66	0,75	0,04	0,74	5,41
EM20EP20AR60	7	0,77	0,76	0,78	0,72	0,88	0,81	0,05	0,79	6,33
EM25EP25AR50	8	0,87	0,75	0,64	0,59	0,88	0,85	0,12	0,76	15,79
EM30EP30AR40	9	0,80	0,87	0,69	0,65	0,77	0,68	0,08	0,74	10,81
EM40AM60	10	0,69	0,63	0,70	0,68	0,62	0,64	0,03	0,66	4,55
EM50AM50	11	0,79	0,76	0,67	0,61	0,70	0,54	0,09	0,68	13,24
EM60AM40	12	0,78	0,74	0,78	0,72	0,74	0,80	0,03	0,76	3,95
EP40AM60	13	0,70	0,74	0,80	0,60	0,64	0,56	0,09	0,67	13,43
EP50AM50	14	0,79	0,83	0,76	0,78	0,63	0,60	0,09	0,73	12,33
EP60AM40	15	0,78	0,78	0,61	0,67	0,60	0,60	0,09	0,67	13,43
EM20EP20AM60	16	0,79	0,80	0,67	0,69	0,55	0,63	0,10	0,69	14,49
EM25EP25AM50	17	0,84	0,73	0,58	0,51	0,81	0,85	0,14	0,72	19,44
EM30EP30AM40	18	0,67	0,87	0,81	0,86	0,64	0,63	0,11	0,75	14,67

## b) Teor de umidade

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) %	CP 2 (Rep 1) %	CP 1 (Rep 2) %	CP 2 (Rep 2) %	CP 1 (Rep 3) %	CP 2 (Rep 3) %	Desvio Padrão	Média %	C.V. %
EM40AR60	1	5,29	4,27	9,04	9,59	6,96	6,55	2,07	6,95	29,78
EM50AR50	2	6,82	7,06	6,68	7,24	1,90	16,30	4,69	7,67	61,15
EM60AR40	3	12,59	12,13	7,22	5,29	3,85	5,78	3,69	7,81	47,25
EP40AR60	4	5,41	5,48	5,06	4,32	1,83	13,00	3,76	5,85	64,27
EP50AR50	5	2,82	3,01	3,90	3,92	4,55	4,51	0,73	3,79	19,26
EP60AR40	6	3,40	3,62	3,92	2,82	3,66	2,90	0,44	3,39	12,98
EM20EP20AR60	7	6,48	6,16	5,76	5,76	5,82	4,51	0,67	5,75	11,65
EM25EP25AR50	8	4,98	5,11	5,54	5,60	4,29	4,50	0,53	5,00	10,60
EM30EP30AR40	9	4,56	4,15	5,02	4,60	4,61	4,43	0,28	4,56	6,14
EM40AM60	10	12,39	4,79	15,02	14,55	12,08	11,10	3,68	11,66	31,56
EM50AM50	11	9,83	2,28	9,84	9,26	12,08	11,10	3,48	9,07	38,37
EM60AM40	12	7,35	14,47	9,67	8,10	7,95	7,20	2,76	9,12	30,26
EP40AM60	13	6,03	15,52	5,78	5,50	4,34	5,76	4,14	7,16	57,82
EP50AM50	14	4,83	4,30	6,49	6,05	5,71	4,76	0,85	5,36	15,86
EP60AM40	15	4,03	3,82	0,43	13,95	6,19	5,06	4,53	5,58	81,18
EM20EP20AM60	16	5,23	8,10	10,06	7,51	10,78	9,17	2,00	8,48	23,58
EM25EP25AM50	17	5,83	6,51	20,34	7,73	19,69	6,40	6,95	11,08	62,73
EM30EP30AM40	18	6,34	5,02	4,93	4,17	5,56	6,83	0,98	5,48	17,88

c) Inchamento após 2 horas de submersão.

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) %	CP 2 (Rep 1) %	CP 1 (Rep 2) %	CP 2 (Rep 2) %	CP 1 (Rep 3) %	CP 2 (Rep 3) %	Desvio Padrão	Média %	C.V. %
EM40AR60	1	26,46	38,00	41,36	23,44	29,42	44,34	8,56	33,84	25,30
EM50AR50	2	34,25	36,73	33,75	40,04	19,26	50,14	10,05	35,69	28,16
EM60AR40	3	32,65	28,21	29,67	31,31	28,46	28,69	1,79	29,83	6,00
EP40AR60	4	14,18	8,47	7,58	12,85	9,07	4,87	3,45	9,50	36,32
EP50AR50	5	1,65	4,39	4,42	3,21	4,94	5,68	1,43	4,05	35,31
EP60AR40	6	4,06	5,54	2,53	5,80	2,77	1,38	1,77	3,68	48,10
EM20EP20AR60	7	19,05	17,85	32,40	21,51	16,53	30,03	6,69	22,90	29,21
EM25EP25AR50	8	11,36	12,80	10,78	15,86	11,50	14,42	1,99	12,79	15,56
EM30EP30AR40	9	9,17	9,83	16,24	7,02	9,60	16,38	3,95	11,37	34,74
EM40AM60	10	40,99	44,38	45,32	38,06	42,19	44,36	2,72	42,55	6,39
EM50AM50	11	33,19	37,70	46,78	31,97	36,50	33,48	5,43	36,60	14,84
EM60AM40	12	42,61	40,92	30,26	39,22	35,11	46,14	5,64	39,04	14,45
EP40AM60	13	18,00	23,09	14,12	21,35	0,40	5,31	9,09	13,71	66,30
EP50AM50	14	9,64	10,73	13,26	7,96	11,07	6,28	2,46	9,82	25,05
EP60AM40	15	5,88	2,28	8,39	4,25	8,05	3,06	2,56	5,32	48,12
EM20EP20AM60	16	31,29	27,95	21,65	28,16	23,43	25,93	3,49	26,40	13,22
EM25EP25AM50	17	22,52	29,44	45,99	20,65	20,30	23,95	9,81	27,14	36,15
EM30EP30AM40	18	18,44	17,37	3,08	14,91	14,73	14,63	5,51	13,86	39,75

d) Inchamento após 24 horas de submersão.

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) %	CP 2 (Rep 1) %	CP 1 (Rep 2) %	CP 2 (Rep 2) %	CP 1 (Rep 3) %	CP 2 (Rep 3) %	Desvio Padrão	Média %	C.V. %
EM40AR60	1	34,24	43,70	53,53	26,26	34,63	56,97	12,01	41,55	28,90
EM50AR50	2	74,27	45,25	43,46	81,44	25,57	57,13	20,82	54,52	38,19
EM60AR40	3	35,19	34,49	37,88	49,16	36,70	38,36	5,37	38,63	13,90
EP40AR60	4	19,18	10,88	9,62	14,95	10,75	6,74	4,39	12,02	36,52
EP50AR50	5	5,68	7,22	7,10	7,68	5,31	6,81	0,93	6,63	14,03
EP60AR40	6	8,98	8,96	4,21	12,65	4,48	4,04	3,53	7,22	48,89
EM20EP20AR60	7	22,86	21,88	39,90	24,54	20,45	35,88	8,19	27,59	29,68
EM25EP25AR50	8	16,06	16,21	19,58	20,45	14,78	22,86	3,13	18,32	17,09
EM30EP30AR40	9	17,48	13,27	25,44	15,95	13,48	21,86	4,85	17,91	27,08
EM40AM60	10	43,77	47,09	46,25	40,96	43,54	46,94	2,42	44,76	5,41
EM50AM50	11	36,04	41,23	49,78	39,94	39,47	36,54	4,97	40,50	12,27
EM60AM40	12	47,27	43,92	57,71	44,57	36,94	51,22	7,06	46,94	15,04
EP40AM60	13	20,05	24,31	15,74	25,95	1,82	5,40	9,97	15,54	64,16
EP50AM50	14	12,14	11,63	14,19	11,01	11,41	6,74	2,45	11,19	21,89
EP60AM40	15	9,19	2,82	9,70	9,25	9,45	5,64	2,82	7,67	36,77
EM20EP20AM60	16	34,40	29,62	32,41	30,67	23,71	28,67	3,66	29,91	12,24
EM25EP25AM50	17	26,88	30,37	66,83	22,37	23,00	27,97	16,90	32,90	51,37
EM30EP30AM40	18	19,14	19,61	15,73	25,45	23,07	15,57	3,94	19,76	19,94

e) Absorção após 2 horas de submersão.

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) %	CP 2 (Rep 1) %	CP 1 (Rep 2) %	CP 2 (Rep 2) %	CP 1 (Rep 3) %	CP 2 (Rep 3) %	Desvio Padrão	Média %	C.V. %
EM40AR60	1	105,37	83,21	66,99	111,69	90,74	55,04	21,84	85,50	25,54
EM50AR50	2	51,97	77,23	99,28	63,02	80,71	70,16	16,21	73,72	21,99
EM60AR40	3	65,98	70,96	66,57	62,49	60,26	49,02	7,58	62,55	12,12
EP40AR60	4	86,57	36,35	57,33	52,96	31,49	8,02	26,71	45,45	58,77
EP50AR50	5	7,80	31,55	22,79	8,22	35,20	40,40	13,88	24,33	57,05
EP60AR40	6	12,18	25,19	25,35	14,03	13,24	6,95	7,48	16,16	46,29
EM20EP20AR60	7	54,23	49,03	56,01	55,88	62,69	59,31	4,63	56,19	8,24
EM25EP25AR50	8	34,25	63,85	16,34	45,34	74,56	23,44	22,83	42,96	53,14
EM30EP30AR40	9	19,31	45,42	37,92	6,71	46,73	64,90	20,86	36,83	56,64
EM40AM60	10	99,29	33,58	140,07	135,97	123,87	133,63	40,69	111,07	36,63
EM50AM50	11	63,32	113,25	125,29	63,51	129,58	141,52	34,26	106,08	32,30
EM60AM40	12	85,43	91,13	72,19	92,38	96,02	95,06	8,91	88,70	10,05
EP40AM60	13	67,13	51,55	93,93	83,68	60,82	64,61	15,63	70,29	22,24
EP50AM50	14	27,90	48,20	48,38	22,01	49,63	46,96	12,22	40,51	30,17
EP60AM40	15	12,26	62,55	68,84	14,02	44,78	38,10	23,71	40,09	59,14
EM20EP20AM60	16	72,47	100,04	119,00	64,22	88,14	111,12	21,57	92,50	23,32
EM25EP25AM50	17	47,20	124,30	85,63	67,81	120,72	60,57	32,06	84,37	38,00
EM30EP30AM40	18	64,66	39,93	39,13	30,05	40,95	84,26	20,44	49,83	41,02

f) Absorção após 24 horas de submersão.

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) %	CP 2 (Rep 1) %	CP 1 (Rep 2) %	CP 2 (Rep 2) %	CP 1 (Rep 3) %	CP 2 (Rep 3) %	Desvio Padrão	Média %	C.V. %
EM40AR60	1	108,93	125,69	89,19	124,39	106,78	75,04	19,85	105,00	18,90
EM50AR50	2	113,29	94,85	118,73	94,30	94,81	97,56	10,85	102,26	10,61
EM60AR40	3	77,59	89,89	87,49	107,57	78,15	68,14	13,61	84,81	16,05
EP40AR60	4	94,02	45,63	64,65	103,58	43,33	21,74	31,62	62,16	50,87
EP50AR50	5	20,52	76,53	35,16	24,17	51,82	44,41	20,59	42,10	48,91
EP60AR40	6	29,27	34,66	44,75	37,45	24,43	18,98	9,30	31,59	29,44
EM20EP20AR60	7	65,54	49,41	68,20	68,00	68,74	70,30	7,81	65,03	12,01
EM25EP25AR50	8	50,62	75,92	36,23	59,30	87,18	43,67	19,51	58,82	33,17
EM30EP30AR40	9	42,07	57,08	61,50	26,50	66,56	77,38	18,22	55,18	33,02
EM40AM60	10	104,76	127,30	140,49	136,56	124,41	134,99	12,90	128,09	10,07
EM50AM50	11	73,62	116,18	139,79	81,39	129,32	145,61	30,32	114,32	26,52
EM60AM40	12	89,96	95,93	126,90	98,15	96,48	98,27	13,07	100,95	12,95
EP40AM60	13	67,46	53,00	96,99	85,62	62,46	73,23	15,98	73,13	21,85
EP50AM50	14	41,67	52,67	61,48	36,65	48,29	61,39	10,18	50,36	20,21
EP60AM40	15	25,25	63,11	72,09	27,84	33,13	58,21	20,23	46,60	43,41
EM20EP20AM60	16	76,40	100,09	151,33	68,73	89,11	112,93	29,85	99,76	29,92
EM25EP25AM50	17	55,56	127,48	94,93	70,15	120,97	61,49	30,88	88,43	34,92
EM30EP30AM40	18	72,86	50,44	75,11	45,22	45,55	84,30	17,16	62,25	27,57



Apêndice 5: Análise de Variância em experimentos inteiramente casualizados-sem transformações para as propriedades mecânicas

a) Módulo de elasticidade

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	17	477665.245	28097.956	1.54	0.0979
Resíduo	90	1639242.325	18213.804		
Total	107	2116907.570			
C.V.=68.00					
D.P.=134.96					
Média=198.4651					

b) Módulo de ruptura

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	17	46.9907824	2.7641637	2.75	0.0010
Resíduo	90	90.3053833	1.0033931		
Total	107	137.2961657			
C.V.=54.09					
D.P.=1.00					
Média=1.85					

c) Tração perpendicular à superfície

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Tratamento	17	0.06694719	0.00393807	0.81	0.6790
Resíduo	90	0.43820667	0.00486896		
Total	107	0.50515385			
C.V.=26.85					
D.P.=5.65					
Média=21.04					

## Apêndice 6: Valores das propriedades mecânicas

## a) Módulo de elasticidade

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) MPa	CP 2 (Rep 1) MPa	CP 1 (Rep 2) MPa	CP 2 (Rep 2) MPa	CP 1 (Rep 3) MPa	CP 2 (Rep 3) MPa	Desvio Padrão	Média (MPa)	C.V. %
EM40AR60	1	52,10	73,47	85,36	64,68	880,65	836,39	408,14	332,11	122,89
EM50AR50	2	371,87	353,76	120,35	24,44	203,31	102,54	141,25	196,05	72,05
EM60AR40	3	216,54	212,26	318,17	291,57	262,69	244,18	41,88	257,57	16,26
EP40AR60	4	144,50	54,37	250,49	276,87	261,07	227,32	86,24	202,44	42,60
EP50AR50	5	286,79	317,02	107,11	225,04	256,84	85,62	95,68	213,07	44,91
EP60AR40	6	265,86	357,67	233,11	248,67	151,83	262,27	66,12	253,24	26,11
EM20EP20AR60	7	209,43	142,52	103,35	192,65	230,11	306,92	70,84	197,50	35,87
EM25EP25AR50	8	167,40	275,31	160,57	81,57	288,26	371,31	105,81	224,07	47,22
EM30EP30AR40	9	447,70	287,11	170,29	109,37	180,87	440,98	144,74	272,72	53,07
EM40AM60	10	70,01	86,17	127,61	96,02	95,24	49,89	26,32	87,49	30,08
EM50AM50	11	217,49	16,96	139,79	54,73	118,02	272,84	96,41	136,64	70,56
EM60AM40	12	194,69	332,98	134,76	167,05	416,27	298,12	109,31	257,31	42,48
EP40AM60	13	170,35	279,00	121,15	207,33	92,26	74,20	77,37	157,38	49,16
EP50AM50	14	287,36	230,31	124,73	135,69	125,07	72,14	79,87	162,55	49,14
EP60AM40	15	220,98	158,42	59,70	86,97	62,71	49,87	68,55	106,44	64,40
EM20EP20AM60	16	254,31	29,68	91,84	10,54	45,79	41,07	90,07	78,87	114,20
EM25EP25AM50	17	319,60	369,84	55,67	39,59	125,41	164,48	137,05	179,10	76,52
EM30EP30AM40	18	299,54	333,41	252,22	414,20	113,46	104,20	123,48	252,84	48,84

## b) Módulo de ruptura

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) MPa	CP 2 (Rep 1) MPa	CP 1 (Rep 2) MPa	CP 2 (Rep 2) MPa	CP 1 (Rep 3) MPa	CP 2 (Rep 3) MPa	Desvio Padrão	Média (MPa)	C.V. %
EM40AR60	1	0,39	0,52	0,65	0,47	5,14	4,53	2,24	1,95	114,87
EM50AR50	2	2,54	2,94	0,70	0,34	1,23	0,85	1,06	1,43	74,13
EM60AR40	3	2,02	2,60	2,40	2,91	2,05	2,59	0,35	2,43	85,05
EP40AR60	4	1,81	0,65	2,73	2,47	3,07	2,19	0,85	2,15	39,53
EP50AR50	5	4,20	4,11	1,05	2,61	3,29	1,24	1,37	2,75	49,82
EP60AR40	6	3,84	4,09	3,08	3,09	1,61	3,87	0,91	3,26	27,91
EM20EP20AR60	7	1,66	1,33	0,85	1,33	1,83	2,34	0,51	1,56	32,69
EM25EP25AR50	8	1,62	2,84	1,57	0,82	2,97	3,74	1,09	2,26	48,23
EM30EP30AR40	9	4,60	3,08	1,32	1,41	1,81	4,29	1,46	2,75	53,09
EM40AM60	10	0,50	0,53	0,68	0,43	0,57	0,53	0,08	0,54	14,81
EM50AM50	11	2,17	1,30	0,89	0,48	0,97	1,32	0,57	1,19	47,90
EM60AM40	12	1,46	2,58	1,00	1,35	2,05	2,04	0,58	1,75	33,14
EP40AM60	13	1,67	2,11	1,21	1,54	1,13	0,89	0,44	1,43	30,77
EP50AM50	14	2,96	2,67	1,57	1,46	1,55	1,18	0,73	1,90	38,42
EP60AM40	15	3,33	2,31	0,66	1,33	0,85	1,09	1,03	1,60	64,38
EM20EP20AM60	16	1,77	1,94	0,79	0,67	0,46	0,25	0,70	0,98	71,43
EM25EP25AM50	17	2,45	2,70	0,50	0,31	1,39	1,32	0,98	1,45	67,59
EM30EP30AM40	18	2,49	2,37	1,77	3,25	1,15	0,77	0,92	1,97	46,70

## c) Tração perpendicular à superfície

Tratamento	Cód.	CP 1 (Rep 1) MPa	CP 2 (Rep 1) MPa	CP 1 (Rep 2) MPa	CP 2 (Rep 2) MPa	CP 1 (Rep 3) MPa	CP 2 (Rep 3) MPa	Desvio Padrão	Média (MPa)	C.V. %
EM40AR60	1	0,00	0,01	0,03	0,01	0,10	0,12	0,05	0,04	125,00
EM50AR50	2	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,05	20,00
EM60AR40	3	0,10	0,16	0,07	0,04	0,10	0,09	0,04	0,09	44,44
EP40AR60	4	0,01	0,00	0,13	0,10	0,14	0,10	0,06	0,08	75,00
EP50AR50	5	0,05	0,03	0,04	0,09	0,11	0,00	0,04	0,06	66,67
EP60AR40	6	0,04	0,05	0,00	0,17	0,10	0,00	0,06	0,06	100,00
EM20EP20AR60	7	0,04	0,04	0,07	0,06	0,02	0,02	0,02	0,04	50,00
EM25EP25AR50	8	0,00	0,05	0,04	0,02	0,09	0,09	0,04	0,05	80,00
EM30EP30AR40	9	0,00	0,00	0,26	0,03	0,00	0,06	0,10	0,06	166,67
EM40AM60	10	0,00	0,05	0,27	0,02	0,02	0,03	0,10	0,07	142,86
EM50AM50	11	0,00	0,06	0,01	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03	66,67
EM60AM40	12	0,03	0,00	0,04	0,07	0,06	0,06	0,03	0,04	75,00
EP40AM60	13	0,00	0,23	0,10	0,12	0,00	0,11	0,09	0,09	100,00
EP50AM50	14	0,28	0,00	0,15	0,20	0,00	0,09	0,11	0,12	91,67
EP60AM40	15	0,00	0,00	0,13	0,13	0,10	0,07	0,06	0,07	85,71
EM20EP20AM60	16	0,10	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,03	0,06	50,00
EM25EP25AM50	17	0,00	0,10	0,00	0,00	0,10	0,00	0,05	0,03	166,67
EM30EP30AM40	18	0,06	0,00	0,00	0,14	0,41	0,04	0,15	0,11	136,36





## Apêndice 7: Norma ANSI

Table A,  
Requirements for Grades of Particleboard<sup>1,2</sup>

Grade <sup>3</sup>	Length & Width mm (inch)	Thickness Tolerance <sup>4</sup> Panel Average from Nominal mm (inch)	Variance from Panel Average mm (inch)	Modulus of Rupture N/mm <sup>2</sup> (psi)	Modulus of Elasticity N/mm <sup>2</sup> (psi)	Internal Bond N/mm <sup>2</sup> (psi)	Hardness N (pounds)	Linear Expansion max. avg. (percent)	Screw-holding Face N (pounds)	Edge N (pounds)	Formaldehyde Maximum Emissions (ppm)
H-1	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	16.5 (2393)	2400 (348100)	0.90 (130)	2225 (500)	NS <sup>5</sup>	1800 (405)	1325 (298)	0.30
H-2	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	20.5 (2973)	2400 (348100)	0.90 (130)	4450 (1000)	NS	1900 (427)	1550 (348)	0.30
H-3	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	23.5 (3408)	2750 (398900)	1.00 (145)	6675 (1500)	NS	2000 (450)	1550 (348)	0.30
M-1	±2.0 (0.080)	±0.250 (0.010)	±0.125 (0.005)	11.0 (1595)	1725 (250200)	0.40 (58)	2225 (500)	0.35	NS	NS	0.30
M-S <sup>6</sup>	±2.0 (0.080)	±0.250 (0.010)	±0.125 (0.005)	12.5 (1813)	1900 (275800)	0.40 (58)	2225 (500)	0.35	900 (202)	800 (180)	0.30
M-2	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	14.5 (2103)	2250 (326300)	0.45 (65)	2225 (500)	0.35	1000 (225)	900 (202)	0.30
M-3	±2.0 (0.080)	±0.200 (0.008)	±0.100 (0.004)	16.5 (2393)	2750 (398900)	0.55 (80)	2225 (500)	0.35	1100 (247)	1000 (225)	0.30
LD-1	±2.0 (0.080)	+0.125 (0.005) -0.375 (0.015)	±0.125 (0.005)	3.0 (435)	550 (79800)	0.10 (15)	NS	0.35	400 (90)	NS	0.30
LD-2	±2.0 (0.080)	+0.125 (0.005) -0.375 (0.015)	±0.125 (0.005)	5.0 (725)	1025 (148700)	0.15 (22)	NS	0.35	550 (124)	NS	0.30

- <sup>1</sup> Particleboard made with phenol formaldehyde based resins do not emit significant quantities of formaldehyde. Therefore, such products and other particleboard products made with resin not containing formaldehyde are not subject to formaldehyde emission conformance testing.
- <sup>2</sup> Grades listed in this table shall also comply with the appropriate requirements listed in Section 3. Panels designated as "exterior glue" must maintain 50% MOR after ASTM D 1037 accelerated aging (paragraph 3.3.3).
- <sup>3</sup> Refer to Annex C for general use and grade information.
- <sup>4</sup> Thickness tolerance values are only for sanded panels as defined by the manufacturer. Unsanded panels shall be in accordance with the thickness tolerances specified by agreement between the manufacturer and the purchaser.
- <sup>5</sup> NS - Not Specified
- <sup>6</sup> Grade "M-S" refers to medium density, "special" grade. This grade was added to the Standard after grades M-1, M-2, and M-3 had been established. Grade "M-S" falls between M-1 and M-2 in physical properties.

Table B  
Requirements for Grades of Particleboard Flooring Products<sup>1,2</sup>

Grade <sup>3</sup>	Length & Width mm (inch)	Thickness Tolerance <sup>4</sup> Panel Average from Nominal mm (inch)	Variance from Panel Average mm (inch)	Modulus of Rupture N/mm <sup>2</sup> (psi)	Modulus of Elasticity N/mm <sup>2</sup> (psi)	Internal Bond N/mm <sup>2</sup> (psi)	Hardness N (pounds)	Linear Expansion max. avg. (percent)	Formaldehyde Maximum Emissions (ppm)
PBU	+0 (0) -4.0 (0.160)	±0.375 (0.015)	±0.250 (0.010)	11.0 (1595)	1725 (250200)	0.40 (58)	2225 (500)	0.35	0.20
D-2	±2.0 (0.080)	±0.375 (0.015)	±0.250 (0.010)	16.5 (2393)	2750 (398900)	0.55 (80)	2225 (500)	0.30	0.20
D-3	±2.0 (0.080)	±0.375 (0.015)	±0.250 (0.010)	19.5 (2828)	3100 (443600)	0.55 (80)	2225 (500)	0.30	0.20

- <sup>1</sup> Particleboard made with phenol formaldehyde based resins do not emit significant quantities of formaldehyde. Therefore, such products and other particleboard products made with resin not containing formaldehyde are not subject to formaldehyde emission conformance testing.
- <sup>2</sup> Grades listed in this table shall also comply with the appropriate requirements listed in Section 3. Panels designated as "exterior glue" must maintain 50% MOR after ASTM D 1037 accelerated aging (paragraph 3.3.3).
- <sup>3</sup> Refer to Annex C for general use and grade information.
- <sup>4</sup> Thickness tolerance values are only for sanded panels as defined by the manufacturer. Unsanded panels shall be in accordance with the thickness tolerances specified by agreement between the manufacturer and the purchaser.

## Apêndice 8 –Valores de densidade para o tratamento 5 e 6.

a) Valores de densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) - tratamento 5

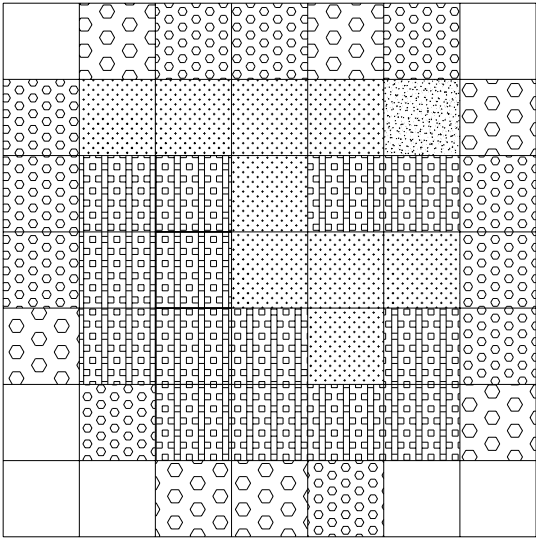
<b>Corpos-de-prova</b>							
<b>REPET.</b>	<b>AO</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>A6</b>
<b>1</b>	0,30	0,38	0,40	0,38	0,35	0,31	0,28
<b>2</b>	0,33	0,42	0,45	0,47	0,46	0,42	0,34
<b>3</b>	0,48	0,43	0,46	0,47	0,48	0,48	0,39
<b>média</b>	0,37	0,41	0,44	0,44	0,43	0,40	0,34
<b>d.padrão</b>	0,10	0,03	0,03	0,05	0,07	0,09	0,06
<b>REPET.</b>	<b>B0</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>
<b>1</b>	0,37	0,50	0,47	0,44	0,43	0,40	0,32
<b>2</b>	0,44	0,60	0,56	0,56	0,53	0,48	0,41
<b>3</b>	0,39	0,52	0,52	0,54	0,56	0,51	0,38
<b>média</b>	0,40	0,54	0,52	0,51	0,51	0,46	0,37
<b>d.padrão</b>	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06	0,05
<b>REPET.</b>	<b>C0</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>
<b>1</b>	0,39	0,49	0,47	0,47	0,45	0,43	0,34
<b>2</b>	0,45	0,58	0,59	0,48	0,59	0,51	0,42
<b>3</b>	0,43	0,52	0,56	0,59	0,58	0,53	0,40
<b>média</b>	0,42	0,53	0,54	0,51	0,54	0,49	0,39
<b>d.padrão</b>	0,03	0,05	0,06	0,07	0,08	0,05	0,04
<b>REPET.</b>	<b>D0</b>	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>	<b>D4</b>	<b>D5</b>	<b>D6</b>
<b>1</b>	0,42	0,49	0,48	0,49	0,46	0,44	0,33
<b>2</b>	0,43	0,59	0,61	0,60	0,57	0,50	0,40
<b>3</b>	0,44	0,54	0,57	0,58	0,59	0,55	0,43
<b>média</b>	0,43	0,54	0,55	0,56	0,54	0,50	0,39
<b>d.padrão</b>	0,01	0,05	0,07	0,06	0,07	0,06	0,05
<b>REPET.</b>	<b>E0</b>	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>	<b>E5</b>	<b>E6</b>
<b>1</b>	0,33	0,48	0,47	0,49	0,48	0,43	0,40
<b>2</b>	0,44	0,56	0,59	0,57	0,55	0,49	0,36
<b>3</b>	0,44	0,55	0,57	0,58	0,58	0,55	0,43
<b>média</b>	0,40	0,53	0,54	0,55	0,54	0,49	0,40
<b>d.padrão</b>	0,06	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04
<b>REPET.</b>	<b>F0</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>	<b>F3</b>	<b>F4</b>	<b>F5</b>	<b>F6</b>
<b>1</b>	0,38	0,57	0,47	0,49	0,47	0,43	0,31
<b>2</b>	0,41	0,51	0,52	0,55	0,48	0,44	0,31
<b>3</b>	0,39	0,51	0,54	0,57	0,57	0,55	0,42
<b>média</b>	0,39	0,53	0,51	0,54	0,51	0,47	0,35
<b>d.padrão</b>	0,02	0,03	0,04	0,04	0,06	0,07	0,06
<b>REPET.</b>	<b>G0</b>	<b>G1</b>	<b>G2</b>	<b>G3</b>	<b>G4</b>	<b>G5</b>	<b>G6</b>
<b>1</b>	0,31	0,36	0,40	0,41	0,40	0,36	0,27
<b>2</b>	0,31	0,37	0,36	0,37	0,37	0,35	0,29
<b>3</b>	0,33	0,35	0,39	0,40	0,41	0,40	0,29
<b>média</b>	0,32	0,36	0,38	0,39	0,39	0,37	0,28
<b>d.padrão</b>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01

b) Valores de densidade (g/cm<sup>3</sup>) - tratamento 6

Corpos-de-prova							
REPET.	AO	A1	A2	A3	A4	A5	A6
1	0,30	0,45	0,48	0,53	0,44	0,37	0,36
2	0,29	0,40	0,44	0,43	0,42	0,41	0,30
3	0,32	0,41	0,45	0,42	0,38	0,31	0,21
média	0,30	0,42	0,46	0,46	0,41	0,36	0,29
d.padrão	0,02	0,03	0,02	0,06	0,03	0,05	0,08
REPET.	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
1	0,44	0,56	0,59	0,63	0,58	0,55	0,49
2	0,37	0,48	0,51	0,52	0,52	0,46	0,33
3	0,40	0,50	0,54	0,56	0,59	0,54	0,43
Média	0,40	0,51	0,55	0,57	0,56	0,52	0,42
d.padrão	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,05	0,08
REPET.	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6
1	0,47	0,60	0,63	0,66	0,61	0,60	0,50
2	0,40	0,52	0,55	0,55	0,53	0,49	0,35
3	0,45	0,53	0,56	0,56	0,60	0,58	0,46
Média	0,44	0,55	0,58	0,59	0,58	0,56	0,44
d.padrão	0,04	0,04	0,04	0,06	0,04	0,06	0,08
REPET.	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6
1	0,50	0,61	0,63	0,63	0,63	0,60	0,50
2	0,42	0,51	0,55	0,55	0,55	0,49	0,46
3	0,45	0,56	0,59	0,61	0,64	0,61	0,47
Média	0,46	0,56	0,59	0,60	0,61	0,57	0,48
d.padrão	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	0,07	0,02
REPET.	E0	E1	E2	E3	E4	E5	E6
1	0,40	0,59	0,60	0,62	0,67	0,64	0,45
2	0,39	0,50	0,54	0,54	0,54	0,49	0,38
3	0,45	0,56	0,60	0,62	0,64	0,61	0,47
Média	0,41	0,55	0,58	0,59	0,62	0,58	0,43
d.padrão	0,03	0,05	0,03	0,05	0,07	0,08	0,05
REPET.	F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6
1	0,49	0,55	0,57	0,58	0,68	0,65	0,43
2	0,38	0,37	0,49	0,53	0,51	0,48	0,38
3	0,42	0,52	0,57	0,58	0,61	0,58	0,45
Média	0,43	0,48	0,54	0,56	0,60	0,57	0,42
d.padrão	0,06	0,10	0,05	0,03	0,09	0,09	0,04
REPET.	G0	G1	G2	G3	G4	G5	G6
1	0,37	0,41	0,45	0,45	0,57	0,53	0,31
2	0,29	0,32	0,36	0,40	0,38	0,36	0,27
3	0,29	0,44	0,44	0,43	0,39	0,38	0,33
média	0,32	0,39	0,42	0,43	0,45	0,42	0,30
d.padrão	0,05	0,06	0,05	0,03	0,11	0,09	0,03



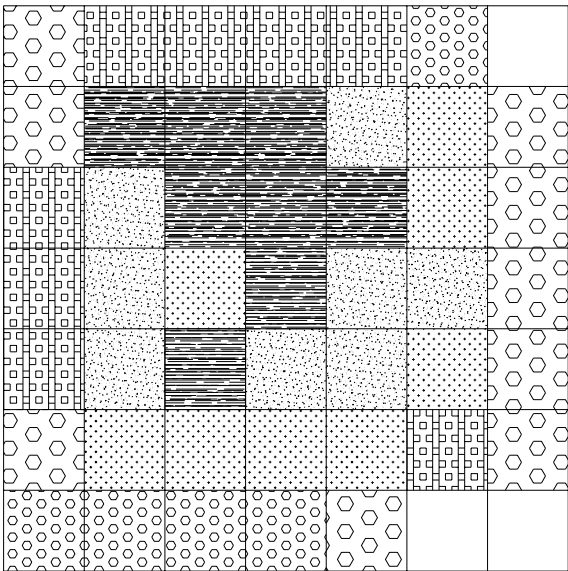
Trat. 5 - Rep. 1



Legenda

	0,53 a 0,57
	0,48 a 0,52
	0,43 a 0,47
	0,38 a 0,42
	0,33 a 0,37
	0,28 a 0,32

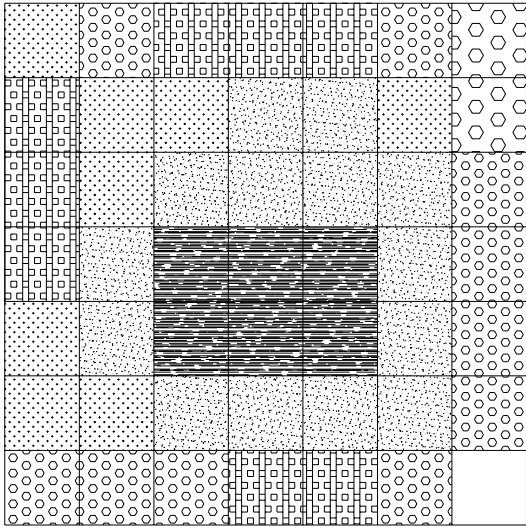
Trat. 5 - Rep. 2



Legenda

	0,58 a 0,62
	0,53 a 0,57
	0,48 a 0,52
	0,43 a 0,47
	0,38 a 0,42
	0,33 a 0,37
	0,28 a 0,32

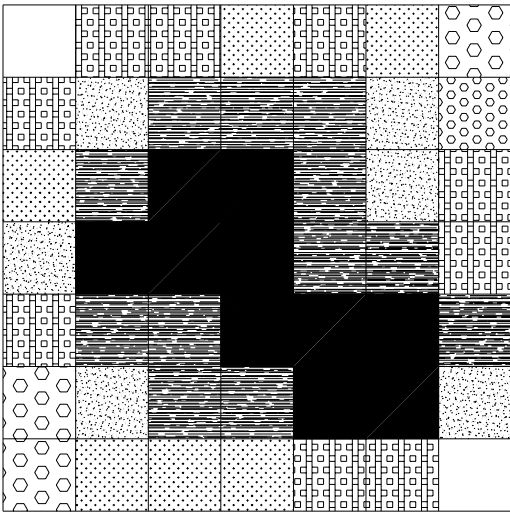
Trat. 5 - Rep. 3



Legenda

	0,58 a 0,62
	0,53 a 0,57
	0,48 a 0,52
	0,43 a 0,47
	0,38 a 0,42
	0,33 a 0,37
	0,28 a 0,32

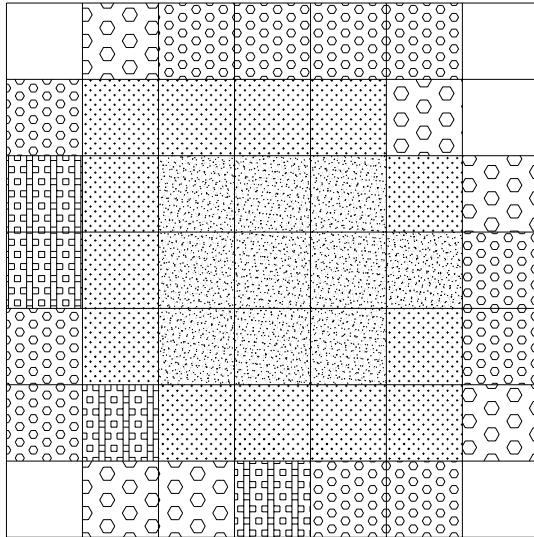
Trat. 6 - Rep. 1



Legenda

	0,63 a 0,68
	0,58 a 0,62
	0,53 a 0,57
	0,48 a 0,52
	0,43 a 0,47
	0,38 a 0,42
	0,33 a 0,37
	0,28 a 0,32

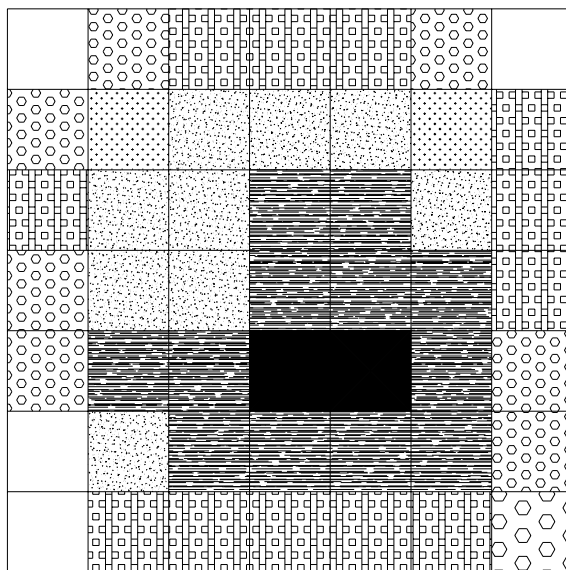
Trat. 6- Rep. 2



Legenda

	0,53 a 0,57
	0,48 a 0,52
	0,43 a 0,47
	0,38 a 0,42
	0,33 a 0,37
	0,28 a 0,32

Trat. 6 - Rep. 3



Legenda

	0,63 a 0,68
	0,58 a 0,62
	0,53 a 0,57
	0,48 a 0,52
	0,43 a 0,47
	0,38 a 0,42
	0,33 a 0,37
	0,28 a 0,32

Apêndice 9: Análise de Variância em experimentos inteiramente casualizados sem transformações dos tratamentos 5 e 6 para flexão estática (MOE):

a) Tratamento 5 (50/50)

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamento</b>	9	42122.721	4679.191	2.403	0.028
<b>Resíduo</b>	40	77904.729	1947.618		
<b>Total</b>	49	120017.450			

b) Tratamento 6 (60/40)

<b>Fonte</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamento</b>	9	33153.683	3683.743	3.340	0.004
<b>Resíduo</b>	40	44114.381	1102.860		
<b>Total</b>	49	77268.064			

Apêndice 10: Valores obtidos na reavaliação do ensaio de flexão estática (MOE) e de densidade em  $\text{g/cm}^3$ , para os tratamento 5 e 6

Amostras	Densid.	MOE	Amostras	Densid.	MOE	Amostras	Densid.	MOE	Amostras	Densid.	MOE
1/50-cp1	0,41	78,57	6/50-cp1	0,50	170,61	1/60-cp1	0,37	59,32	6/60-cp1	0,37	48,81
1/50-cp2	0,48	108,05	6/50-cp2	0,53	158,64	1/60-cp2	0,40	80,64	6/60-cp2	0,45	104,69
1/50-cp3	0,47	112,26	6/50-cp3	0,52	158,11	1/60-cp3	0,39	76,73	6/60-cp3	0,47	112,04
1/50-cp4	0,47	102,19	6/50-cp4	0,47	122,52	1/60-cp4	0,39	82,08	6/60-cp4	0,45	105,13
1/50-cp5	0,39	73,31	6/50-cp5	0,39	72,17	1/60-cp5	0,33	40,46	6/60-cp5	0,50	56,04
2/50-cp1	0,58	151,68	7/50-cp1	0,38	72,31	2/60-cp1	0,37	66,03	7/60-cp1	0,38	52,93
2/50-cp2	0,58	202,82	7/50-cp2	0,44	107,2	2/60-cp2	0,46	109,89	7/60-cp2	0,42	95,96
2/50-cp3	0,58	251,81	7/50-cp3	0,44	96,14	2/60-cp3	0,48	124,94	7/60-cp3	0,43	111,06
2/50-cp4	0,56	149,17	7/50-cp4	0,43	69,41	2/60-cp4	0,46	119,6	7/60-cp4	0,45	113,77
2/50-cp5	0,47	81,35	7/50-cp5	0,34	6,37	2/60-cp5	0,31	38,78	7/60-cp5	0,36	66,05
3/50-cp1	0,38	81,32	8/50-cp1	0,38	35,46	3/60-cp1	0,41	16,95	8/60-cp1	0,36	41,15
3/50-cp2	0,49	142,93	8/50-cp2	0,43	29,33	3/60-cp2	0,48	35,72	8/60-cp2	0,44	79,95
3/50-cp3	0,50	152,51	8/50-cp3	0,45	78,8	3/60-cp3	0,55	116,31	8/60-cp3	0,43	85,48
3/50-cp4	0,47	107,29	8/50-cp4	0,50	191,31	3/60-cp4	0,53	17,61	8/60-cp4	0,41	69,12
3/50-cp5	0,35	63,3	8/50-cp5	0,47	80,91	3/60-cp5	0,45	123,91	8/60-cp5	0,30	19,53
4/50-cp1	0,39	71,99	9/50-cp1	0,47	43,44	4/60-cp1	0,43	85,79	9/60-cp1	0,49	121,1
4/50-cp2	0,50	136,47	9/50-cp2	0,34	86,8	4/60-cp2	0,49	117,32	9/60-cp2	0,50	144,04
4/50-cp3	0,52	150,43	9/50-cp3	0,44	87,58	4/60-cp3	0,50	138,73	9/60-cp3	0,50	126,74
4/50-cp4	0,48	137,95	9/50-cp4	0,44	96,52	4/60-cp4	0,48	109,49	9/60-cp4	0,49	145,85
4/50-cp5	0,37	61,98	9/50-cp5	0,38	69,88	4/60-cp5	0,38	58,75	9/60-cp5	0,41	85,07
5/50-cp1	0,35	40,51	10/50-cp1	0,35	37,41	5/60-cp1	0,39	81,43	10/60-cp1	0,48	103,45
5/50-cp2	0,46	134,76	10/50-cp2	0,43	81,01	5/60-cp2	0,48	125,28	10/60-cp2	0,56	163,46
5/50-cp3	0,48	157,3	10/50-cp3	0,46	94,88	5/60-cp3	0,49	131,84	10/60-cp3	0,60	175,06
5/50-cp4	0,48	152,43	10/50-cp4	0,43	100,72	5/60-cp4	0,47	117,85	10/60-cp4	0,58	178,87
5/50-cp5	0,32	46,09	10/50-cp5	0,38	57,76	5/60-cp5	0,38	63,51	10/60-cp5	0,45	99,46

