

UTILIZAÇÃO DE *Pinus pinaster* PARA FABRICAÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS

SIDON KEINERT JUNIOR

Prof. Titular da UFPr, Ph. D. Painéis de Madeira.

JORGE LUIZ M. DE MATOS

Pesquisador do INPA, Manaus, aluno de Pós-Graduação.

SUMMARY

Feasibility study for the utilization of *pinaster* pine on the manufacturing of composition boards (flake and wafer) were developed using 19 year old trees from Rio Negro, Paraná. Thirthy two panels with densities 0,63 and 0,75 g/cm³ 2 and 6% phenol-formaldehyde were made. Properties like MOR and MOE water absorption, internal bond fulfilled commercial standard 236-66 mat formed wood particleboard. An statistical covariance analysis was carried out showing better properties for flakeboards.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de estudos para a utilização de novas espécies na fabricação de chapas de partículas torna-se necessário.

Algumas espécies ocorrentes neste Estado já foram submetidas a estudos podendo-se citar aqueles realizados por KEINERT (1984), que empregou *Pinus taeda*, *elliottii* e *patula* para a fabricação de chapas de partículas do tipo "waferboard", obtendo excelentes propriedades para os painéis produzidos. Também KEINERT (1980) e 1985, desenvolveu amplos estudos para utilização de *Eucalyptus robusta*, *E. grandis*, *E. saligna* e *viminalis*, na fabricação de chapas de partículas. Esta espécie foi introduzida no país em 1960 e seu desenvolvimento nas condições desta região testadas na estação experimental de Rio Negro pertencente a Universidade Federal do Paraná. Seu desenvolvimento não mostrou-se satisfatório de início, mas possibilidades de uso de sua madeira mostram-se viáveis. Foram produzidas chapas de partículas do tipo "wafer" e "flake" a duas densidades aplicando-se duas densidades aplicando-se duas dosagens de resina fenol-formaldeído. Os resultados obtidos permitem assegurar a possibilidade de uso desta espécie.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Árvores de *Pinus pinaster* com 19 anos de idade, diâmetro médio de 14 cm, altura média de 14 m, densidade de 0,56 g/cm³ a 12% de umidade, procedentes de um plantio localizado em Rio Negro-Pr, foram seccionadas em toretes de 1m de comprimento e posteriormente a discos de 7 cm de espessura para a conversão a partículas em equipamento laboratorial. Com metade do material, foram obtidas partículas do tipo "wafer" nas dimensões médias (a 12% de umidade) de 3,16 cm de comprimento, espessura média de 0,612 mm, largura média de 3,14 cm. Com o material restante obteve-se partículas do tipo "flake" nas dimensões de 1,95 cm de comprimento, 0,66 cm de largura e espessura média de 0,504 mm a 12% de conteúdo de umidade.

As partículas obtidas foram tratadas individualmente sendo secas em estufa à temperatura máxima de 80°C obtendo-se um conteúdo de umidade médio de 3% para "wafer" e 2% para "flake". As partículas nestas condições foram armazenadas em embalagens plásticas até a sua utilização definitiva.

Foram fabricados 32 painéis; 16 de cada tipo de partículas constituindo-se numa análise de covariância em experimento fatorial 2x2 c/4 repetidos. Os fatores considerados foram: dois níveis de resina fenol-formaldeído (50% de sólidos), aplicada nas proporções de 2 a 6%; dois tipos de partículas. A densidade dos painéis constitui-se na covariável tendo sido analisadas separadamente a 0,63g/cm³. As dimensões dos painéis foram de 45 x 55 x 1,3 cm tendo sido consolidados à temperatura de 160°C durante 5 minutos com uma pressão específica de 40 kg/cm². O tempo de fechamento médio para as "waferboards" foi de 25 segundos à densidade 0,63 g/cm³ e de 32 s. à densidade de 0,75 g/cm³. Para as "flakeboards" tempo de fechamento médio foi de 33 seg. a 0,63 g/cm³ e de 36 seg. a 0,75 g/cm³. A razão de compactação

para os painéis com densidade 0,63 foi de 1,12 e para chapas com densidade 0,75 g/cm³ foi de 1,34.

Após o processo de prensagem os painéis foram esquadrejados e acondicionados em câmara de climatização à temperatura de 20°C e umidade relativa de 65% até a obtenção de umidade de equilíbrio de 12% para realização dos testes. Foram retirados dos painéis os corpos de prova para avaliação das propriedades segundo as dimensões estabelecidas pela norma ASTM D-1037 (1982).

Devido as reduzidas dimensões dos painéis, foram obtidos 2 corpos de prova por painel para avaliação do módulo de ruptura, módulo de elasticidade, densidade e conteúdo de umidade. Dois corpos de prova por painel para avaliação da variação em espessura e absorção de água. A determinação da adesão interna foi feita segundo procedimentos adotados por SUCHSLAND (1977), retirando-se 6 corpos de prova por painel.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Os cálculos estatísticos foram realizados considerando-se separadamente os tratamentos aplicados às chapas nas densidades médias de 0,63 g/cm³ e 0,75 g/cm³ em virtude de utilizar-se a densidade como covariável. O delineamento utilizado foi a análise de covariância em experimento fatorial 2 x 2. O uso da covariância foi para ajustar os valores estimados de propriedades para uma mesma densidade média já que é muito difícil o controle desta variável no laboratório.

No uso padrão da covariância é muito importante ter-se certeza que os tratamentos não afetam os valores da covariável (COCHRAN and COX, 1957) daí a razão de não considerar-se a densidade dos painéis como um tratamento. Posteriormente, através de um teste de homogeneidade de variâncias (WINER, 1971) pode-se testar a existência de diferenças entre as médias dos tratamentos aplicados em chapas com densidade de 0,63 g/cm³ com aquelas de densidade de 0,75 g/cm³.

Os resultados das propriedades físico-mecânicas obtidas com os painéis a diferentes densidades são apresentados nas tabelas 1 e 2, com os valores médios ajustados pela covariável.

3.1. Propriedades de Resistência

Flexão Estática

O valor médio de módulo de ruptura mais elevado foi aquele obtido de chapas de partículas

do tipo "flake" sendo estatisticamente superiores às chapas de partículas do tipo "wafer", conforme podemos visualizar na figura 1. Também para o módulo de elasticidade a maior média foi obtida para chapas do tipo "flakeboard". (Fig. 2).

de maneira geral o MOR e MOE não afetados de maneira semelhante pelos vários parâmetros do processo de produção de painéis de madeira. Alguns autores afirmam que MOR e MOE aumentam com o aumento da razão comprimento/espessura das partículas, (KELLY 1977) o que neste experimento não foi confirmado já que era para "waferboards" a razão foi de 52 e para "flakeboards" 39 com partículas de 12% de umidade, contrariando esta tendência. A literatura afirma também que o MOE é grandemente dependente do comprimento das partículas, sendo mais elevado para partículas mais compridas (KELLY, 1977). Neste caso os valores observados neste trabalho também contrariam esta tendência já que se esperaria valores mais elevados de MOE para partículas do tipo "wafer". Também o aumento da densidade dos painéis causa um aumento nos valores de MOR e MOE. Esta tendência foi confirmada pois as maiores médias de MOR e MOE foram obtidas à densidade de 0,75 g/cm³. Também pode-se atribuir este aumento em resistência ao aumento na razão de compactação que foi de 1,12 para painéis de 0,63 g/cm³ e de 1,34 para painéis de 0,75 g/cm³ de densidade.

O aumento no percentual de resina aplicado às partículas proporcionou aumentos nos valores de flexão estática. Para o nível de 6% de resina aplicada às partículas houve diferença estatística quando comparada com as médias de 2% aplicada, sendo superior na primeira.

O tipo de delineamento experimental usado permitiu o estudo das interações entre os fatores. Estas interações não foram significativas estatisticamente para o MOR quando se interagiu o tipo de partícula com a dosagem de resina aplicada. Os resultados mostraram comportamentos independentes; isto é, o tipo de partículas usada não sofreu influência do nível de resina aplicada e vice-versa. Já para o MOE, em chapas com densidade de 0,75 g/cm³ ocorreu interação partícula versus dosagem de resina constatando-se que a melhor combinação seria a aplicação de 6% de resina em partículas do tipo "flake", proporcionando os mais elevados valores de MOE. (Fig. 2).

Quando se analisa os resultados obtidos com chapas de partículas de *Pinus pinaster* o MOR e MOE apresentam valores médios dentro os padrões

mínimos exigidos internacionalmente (CS-236-66, 1968), exceto quando o percentual de resina apli-

cada foi de 2% e, excepcionalmente para o MOE de "waferboard" com 6% de resina.

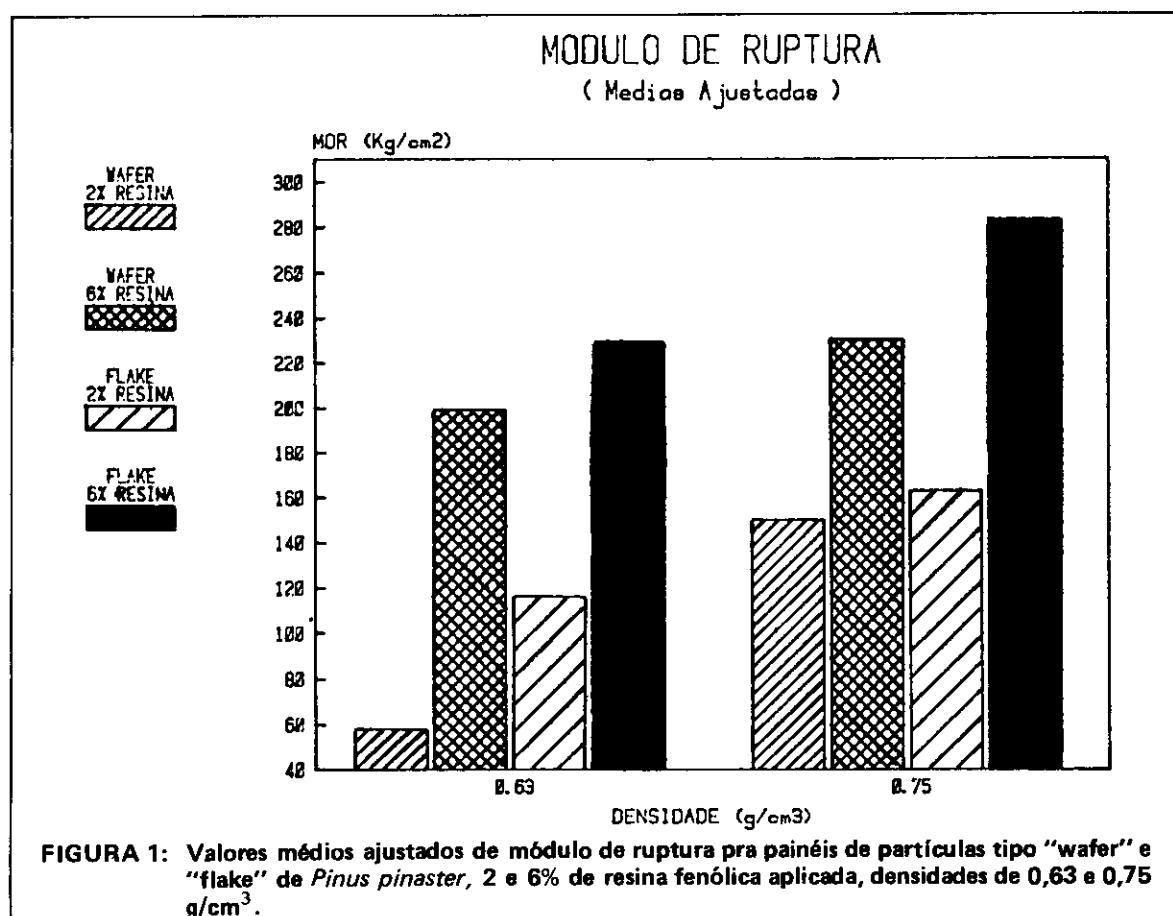


TABELA 1: Valores médios das propriedades físico-mecânicas de chapas de partículas de *Pinus pinaster* ajustados para a densidade de 0,63 g/cm³ através de análise de covariância.

PROPRIEDADE	PERCENTUAL DE RESINA FENÓLICA	TIPO DE PARTÍCULA			
		WAFFER		FLAKE	
		2%	6%	2%	6%
MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm²)		58	199	116	229
MÓDULO DE ELASTICIDADE (kg/cm²)		21.690	34.315	39.477	56.586
ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 hs (%)		109	74	99	71
ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 hs (%)		118	87	102	79
VARIAÇÃO EM ESPESSURA APÓS 2 hs (%)		60	33	41	26
VARIAÇÃO EM ESPESSURA APÓS 24 hs (%)		67	33	45	26
ADESÃO INTERNA (kg/cm²)		2	8	4	8

TABELA 2: Valores médios das propriedades físico-mecânicas de chapas de partículas de *Pinus pinaster* ajustados para a densidade de 0,75 g/cm³ através de análise de covariância.

PROPRIEDADE	PERCENTUAL DE RESINA FENÓLICA	TIPO DE PARTÍCULA			
		WAFER		FLAKE	
		2%	6%	2%	6%
MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)		150	230	163	283
MÓDULO DE ELASTICIDADE (kg/cm ²)		27.062	30.514	43.828	62.932
ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 2 hs (%)		94	74	97	51
ABSORÇÃO DE ÁGUA APÓS 24 hs (%)		106	86	104	63
VARIAÇÃO EM ESPESSURA APÓS 2 hs (%)		71	52	60	29
VARIAÇÃO EM ESPESSURA APÓS 24 hs (%)		76	57	66	34
ADESÃO INTERNA (kg/cm ²)		5	6	9	10

Adesão Interna

A adesão interna é a medida da consolidação interna dos painéis. O método de realização do teste usado neste trabalho foi baseado em procedimento adotado por SUCHSLAND, 1977.

Para painéis com os valores médios de ligação interna ajustados para a densidade de 0,63 g/cm³, aqueles com partículas do tipo "wafer". Também à densidade de 0,75 g/cm³ com as "flakeboards" superaram as "waferboards". KELLY (1977), diz que muitos autores têm encontrado altos valores de adesão interna com o aumento da densidade das chapas, aumento do conteúdo de resina, tempo de prensagem e temperatura. Neste trabalho pode-se avaliar as diferenças pelo aumento em densidade que proporcionaram médias maiores. Infelizmente fatores como o tipo de partícula e quantidade de resina aplicada não puderam ser melhor avaliados, devido a grande variabilidade entre os painéis. Não houve interação entre os fatores o que também pode ser atribuído a elevada variância e ao pequeno número de repetições que podem não ter demonstrado o comportamento real desta variável. A Figura 3

apresenta distinção visual entre os tratamentos o que não indica necessariamente a existência de diferenças estatísticas entre as médias. A única diferença surge quando se compara às médias de ligação interna obtidas com os dois tipos de partículas, sendo superior em "flakeboards".

3.2. Estabilidade Dimensional

Foram estudados o percentual de absorção de água com base no peso e o inchamento ou variação em espessura dos painéis em períodos de 2 a 24 horas. Através das Tabelas 1 e 2 podemos observar os valores médios obtidos, ajustados às densidades de 0,63 e 0,75 g/cm³.

Absorção de Água

Pelo estudo da interação dos fatores tipo de partícula e percentual de resina aplicada, constatou-se que à densidade de 0,63 g/cm³ no decurso de 2 horas de imersão em água, as médias dos percentuais de absorção de água em chapas do tipo

MODULO DE ELASTICIDADE (Médias Ajustadas)

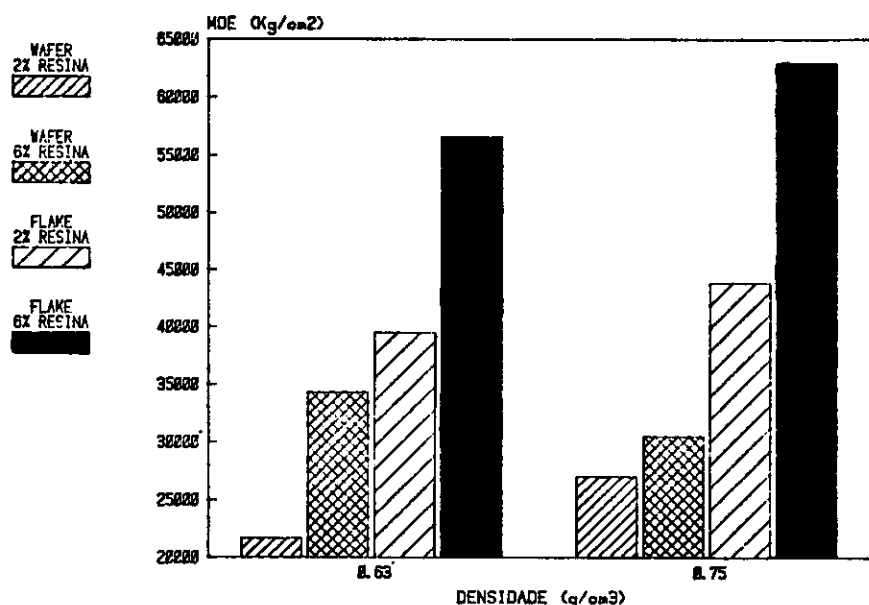


FIGURA 2: Valores médios ajustados de módulo de elasticidade para painéis de partículas tipo "wafer" e "flake" de *Pinus pinaster*, densidades de 0,63 e 0,75 g/cm³.

ADESÃO INTERNA (Médias Ajustadas)

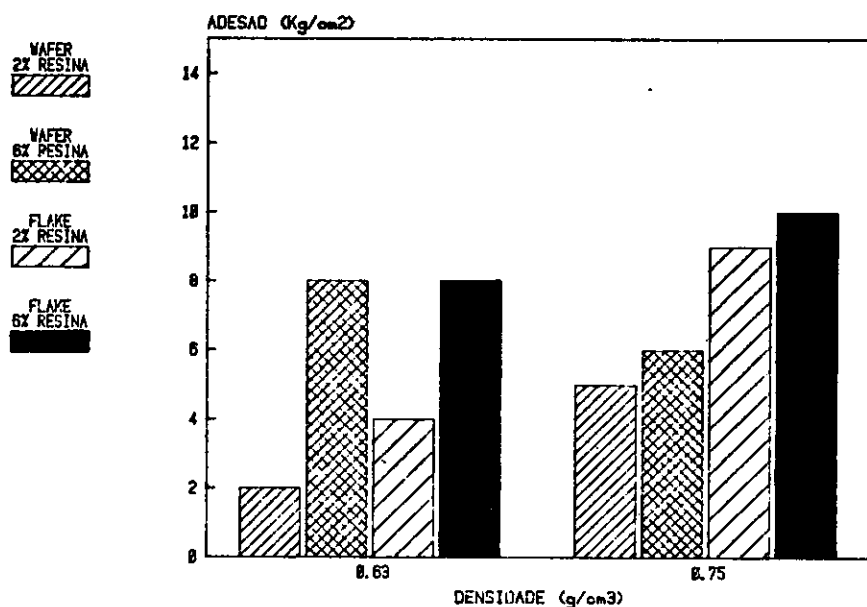


FIGURA 3: Valores médios de Adesão interna para painéis de partículas do tipo "wafer" e "flake" 2 e 6% de resina fenólica aplicada, densidades de 0,63 e 0,75 g/cm³.

"wafer" a "flake" com 6% de resina não diferem e são as menores. Entretanto, após 24 hs de imersão estas médias passam a diferir, observando-se menor percentual de absorção em chapas "flakeboards" com 6% de resina, seguida de "waferboard" com 6% de resina. (Tabela 1 e Fig. 4)

Já em painéis com densidade de $0,75 \text{ g/cm}^3$, após período de 2 a 24 hs, o menor valor percentual médio de absorção de água é observado em "flakeboards" com 6% de resina, enquanto que as médias dos demais tratamentos não diferem estatisticamente. (Tabela 2 e Fig. 4). A interação significativa entre tipo de partícula com percentual de resina aplicada, avaliado após períodos de 2 e 24 hs de imersão, leva-nos a concluir que, a esta densidade, o efeito da aplicação de diferentes dosagens de resina nos dois tipos de partículas apresentaram comportamento distinto. Pela análise estatística verificamos que os painéis de maior estabilidade dimensional foram aqueles com partículas do tipo "flake" em que se aplicou 6% de resina fenólica. A segunda menor média foi obtida com chapas de partícula do tipo "wafer" com 6% de resina.

Verificando-se a homogeneidade das variâncias e testando-se as diferenças entre médias

de absorção à densidade de $0,63 \text{ g/cm}^3$ com a densidade de $0,75 \text{ g/cm}^3$ (segundo-se procedimentos apresentados por Winer, 1971), constatou-se que o menor percentual de absorção de água é obtido à densidade de $0,75 \text{ g/cm}^3$, tanto em períodos de 2 como 24 hs. este fato coincide com as observações de alguns autores como Roffael e Rauch, 1972, citados por Kelly, 1977 que reportam que, com um aumento de densidade diminui a absorção de água, mas tende a aumentar a variação em espessura das chapas, o que também foi verificado neste experimento, como veremos a seguir.

Varição em Espessura

Avaliando-se a variação ou inchamento em espessura dos painéis após a imersão em água por períodos de 2 a 24 hs, em chapas com densidade de $0,63 \text{ g/cm}^3$, pudemos constatar, pela análise estatística dos resultados obtidos (Tabela 1), que as maiores variações ocorreram em painéis nos quais se aplicou 2% de resina, sendo maiores também para partículas do tipo "wafer". Por conseguinte, as menores variações em espessura foram observadas naqueles painéis com 6% de resina fenólica. Salienta-se também que chapas de partí-

ABSORÇÃO DE ÁGUA (Médias Ajustadas)

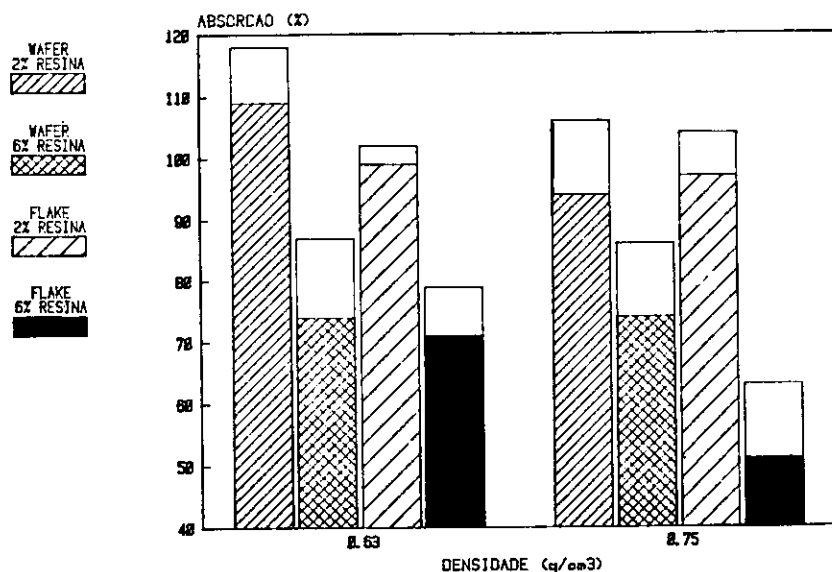
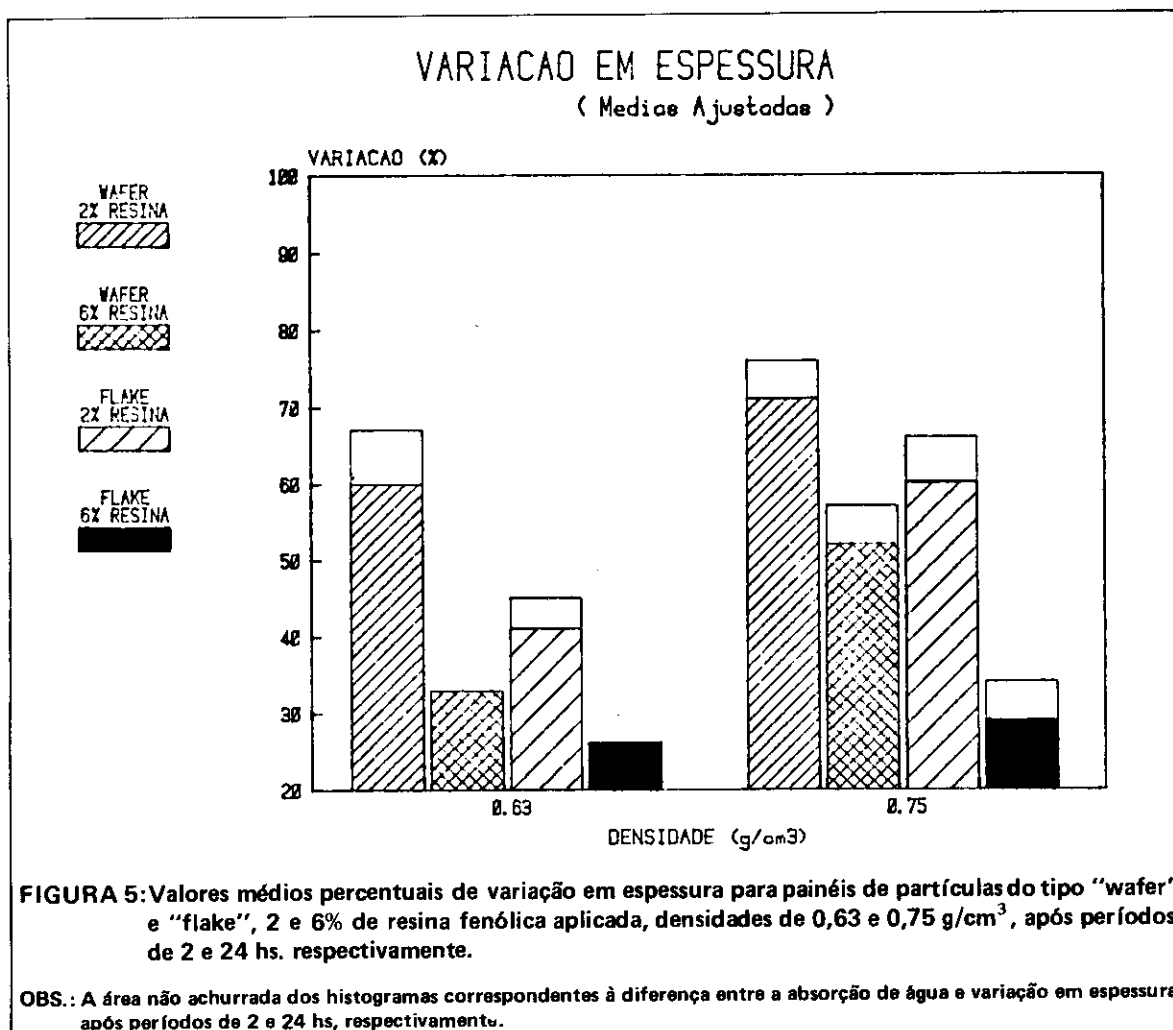


FIGURA 4: Valores médios percentuais de absorção de água para painéis de partículas tipo "wafer" e "flake", 2 e 6% de resina fenólica aplicada, densidade de $0,63$ e $0,75 \text{ g/cm}^3$, após períodos de 2 e 24 horas, respectivamente.

culas do tipo "flake" com 6% de resina apresentaram menor inchamento em espessura. É interessante observar que a esta densidade após 2 e 24 hs a variação em espessura permaneceu com os valores médios inalterados para aqueles painéis com 6% de resina fenólica aplicada. (Tabela 1 e Fig. 5)

Para painéis com valores médios de variação em espessura ajustados para a densidade de $0,75 \text{ g/cm}^3$ avaliados após 2 e 24 hs não se obteve interação significativa entre dosagens de resina aplicada versus tipo de partícula. (Tabela 2 e Fig. 5)



As médias diferentes estatisticamente entre "waferboards" e "flakeboards", sendo mais estáveis (menor variação) na segunda.

Uma comparação entre as médias obtidas à densidade de $0,63 \text{ g/cm}^3$ e $0,75 \text{ g/cm}^3$ demonstrou que a maior variação percentual em espessura ocorreu naqueles painéis de maior densidade. Isto pode ser atribuído em grande parte às tensões internas retidas nos painéis durante a prensagem e que são liberadas pela influência da umidade.

O aumento da estabilidade dimensional dos painéis com o aumento no conteúdo de resina é explicado pelo aumento da resina às partículas.

Para KELLY, 1977 uma maior estabilidade dimensional é obtida com partículas mais finas que com partículas espessas, segundo ele, a massa de madeira em cada partícula e o aumento do número de interfaces hidrofóbica dos espaços vazios entre partículas, conseqüentemente esta variação dentro dos espaços macroscópicos das chapas resultam em menor variação em espessura. Neste trabalho constatou-se que a menor variação em espessura ocorreu em chaps do tipo "flake" o que poderia se relacionar com o maior volume de espaços vazios, possibilitando uma maior dispersão da variação higroscópica.

4. CONCLUSÕES

— De modo geral para as propriedades físico-mecânicas avaliadas os painéis com maior resistência foram aqueles produzidos com partículas do tipo "flake", densidade de $0,75 \text{ g/cm}^3$, 6% de resina fenol-formaldeído aplicada às partículas.

— Quanto à estabilidade dimensional, os menores valores de absorção de água foram observados em painéis com densidade de $0,75 \text{ g/cm}^3$, partículas do tipo "flake" e 6% de resina fenólica aplicada.

— A variação ou inchamento em espessura foi menor em chapas com densidade de $0,63 \text{ g/cm}^3$, 6% de resina fenólica aplicada às partículas do tipo "flake".

— Das variações máximas obtidas tanto em absorção de água como inchamento em espessura, acima de 80% destas variações ocorreram nas primeiras duas horas após a imersão em água. Através deste estudo preliminar conclui-se, que a produção de chapas de partículas com *Pinus pinaster* mostra-se viável. Muito embora aqueles painéis com 2% de resina aplicada não tenham alcançado os valores mínimos requeridos internacionalmente.

Recomenda-se que os níveis de resina empregados excedam o valor de 2% que foi testado nas partículas desta espécie pois poderão resultar em painéis de características pobres.

Salientamos que neste estudo a adesão interna não foi melhor analisada devido a elevada variância entre os painéis e o pouco número de amostras testadas que não abrangeram esta variação.

5. RESUMO

Estudos de viabilidade de utilização de *Pinus pinaster* para a fabricação de chapas de partículas aglomerados do tipo "flakeboard" e "waferboard" foram desenvolvidos a partir da utilização de árvores de 19 anos de idade de um plantio localizado em Rio Negro, Paraná. Foram fabricados 32 painéis com densidade de $0,63$ e $0,75 \text{ g/cm}^3$, partí-

culas do tipo "wafer" e "flake" e aplicando-se níveis de 2 a 6% de resina fenol-formaldeído. As propriedades das chapas com flexão estática, adesão interna e inchamento em espessura, foram analisados através da norma internacional ASTM, obtendo-se melhores painéis com partículas do tipo "flake", 6% de resina fenólica aplicada e densidade de $0,75 \text{ g/cm}^3$ que apresentaram valores de resistência à flexão, absorção de água e adesão interna compatíveis com a norma. Chapas de partículas do tipo "waferboard" apresentaram menores valores de resistência à flexão e maior absorção de água, mas mostram-se variáveis como produto obtido de partículas de *Pinus pinaster* tornando-se necessário o desenvolvimento de estudos mais amplos com a espécie.

6. LITERATURA CITADA

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. In: Annual book of ASTM standards, ASTM D 1037-78B, Philadelphia, 1982.
2. COCHRAN, W. G.; COX, G. M. *Experimental Designs* New York, John & Sons, 1957. 616 p.
3. COMERCIAL STANDARD CS 236-66. Mat. Formed Wood Particleboard, 1968.
4. KEINERT, S. J. Laboratory Evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the Manufacture of composition Board. Ph. D. Dissertation M. S. U. 184 p., 1980.
5. KEINERT, S. J. *Pinus* spp como matéria-prima para produção de chapas de partículas estruturais — Anais Isemader pag. 51-53, 1984.
6. KEINERT, S. J. A Viabilidade da Utilização de Espécies de *E. saligna* e *E. viminalis* para produção de chapas de composição — Tese de Prof. Titular 76 p. 1985.
7. KELLY, M. W. Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. FPL-10, 1977. 66 p.
8. SUCHSLAND, O. Compression Shear Test for Determination of Internal Bond Strength in Particleboard. For. Prod. J., 27 (1): 32-36, 1977.
9. WINER, B. J. *Statistical Principles in Experimental Design*. New York, McGraw-Hill, 1971. 907 p.