

Jorge Luís Monteiro de Matos*
Sidon Keinert Jr.**

SUMMARY

In this research were studied some important variables of the press cycle influencing the strength properties of waferboards manufactured from taeda pine.

Were analysed the moisture content of the particles (3%, 5% and 10%), the press closing time (35 and 100 sec), the pressing time (8 and 15 min) and the use of 1% wax over the particles.

The 35 sec closing time showed positive results in MOE, MOR and internal bond. Moisture content only influenced MOE. The density gradients and pressing times did not affect the properties at all. From a general standpoint the panel did have good quality, and most of the properties conformed to standard NPA CS-235-66.

1. INTRODUÇÃO

A fabricação no Brasil de chapas de partículas do tipo **waferboard** é ainda desconhecida, muito embora este produto seja amplamente fabricado e comercializado no exterior. Por apresentar propriedades físico-mecânicas superiores as chapas convencionais além de ter boas condições de uso estrutural os painéis **waferboard** tornam-se comercialmente viáveis. No entanto estudos preliminares de fabricação e adequabilidade as nossas espécies florestais tornam-se necessários.

Estudos sobre as espécies mais indicadas para obtenção de chapas **waferboard** de boa qualidade foram desenvolvidos por KEINERT JR. (1980)⁵ e também por BRITO (1984)² com excelentes resultados. Neste trabalho abordamos o estudo do ciclo de prensagem, considerando uma das mais importantes fases de formação de painéis de partículas pois é onde ocorre a consolidação final do produto e também que regula o fluxo de produção. Os efeitos do ciclo de prensagem sobre as propriedades físico-mecânicas são relevantes porque o uso final a que podemos destinar o produto depende parte da ação das diversas variáveis sobre suas propriedades de resistência. Nas condições de uso em que grande resistência é exigida, o estudo das variáveis do ciclo da prensa que mais diretamente atuam sobre estas propriedades, e que

podem ser manipuladas para obter-se os requisitos desejados, são de fundamental importância.

Muitas variáveis estão envolvidas no processo de produção de aglomerados, especialmente no momento de prensagem. Os parâmetros considerados mais atuantes sobre as propriedades de resistência são especialmente a umidade das partículas e o tempo de fechamento da prensa que atuam sobre a formação do gradiente vertical de densidade, ou seja, a distribuição da densidade ao longo das diversas camadas de partículas que compõem um painel, da superfície ao miolo.

Os efeitos da atuação dos diversos parâmetros sobre as características dos painéis podem ser analisados através da observação do gradiente vertical de densidade. As propriedades de resistência como flexão estática, ligação interna e resistência ao arrancamento de parafuso estão diretamente associadas ao perfil de densidade das chapas (KELLY (1977),⁶ SUCHSLAND & WOODSON (1974),¹³ GEIMER et alii (1975)⁴).

Quando rápidas velocidades de fechamento dos pratos da prensa são usadas a espessura final é atingida antes que uma quantidade suficiente de calor seja transferida ao miolo do material. As camadas superficiais mais aquecidas permitirão uma compressão mais fácil que as camadas interiores mais frias, resultando em maior densificação nas

* Pesquisador do INPA/Manaus-AM.

** Professor Titular da UFPR-PR.

camadas superficiais que no centro dos painéis. Como resultado pode-se esperar altos valores de resistência e baixos valores de adesão interna devida a pouca densificação do miolo. Portanto, com base na análise do gradiente vertical de densidade das chapas e das variáveis que atuam sobre sua formação podemos determinar os parâmetros mais importantes para obtenção de painéis com boas propriedades de resistência.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima — Foram utilizadas 32 árvores de *Pinus taeda* com idade de 9 anos, diâmetro médio de 19 cm, altura de 11 m, densidade 0,38 g/cm³, para produção de partículas do tipo "wafer" obtidas de um gerador a base de discos, apresentando quando secos comprimento médio de 3,0 cm e espessura de 0,49 mm, a largura não pode ser controlada.

2.2 Formação dos painéis — As partículas foram secas em estufa até teores de umidade de 3%, 5% e 10%, conforme previsto no plano experimental e pesadas nas quantidades requeridas para obtenção de um painel com densidade de 0,7 g/cm³. Após a pesagem aspergiu-se 5% de resina fenol-formaldeído sobre as partículas em um tambor rotativo. Em alguns casos também aplicou-se 1% de parafina ao material conforme previsto no delineamento experimental.

As partículas impregnadas de resina e parafina foram depositadas manualmente em uma formadora obtendo-se o colchão de partículas. No interior destes colchões foram introduzidos termopares para acompanhamento do desenvolvimento da temperatura no interior dos painéis a medida que se desenvolvia a consolidação.

2.3 Prensagem — Após o processo de formação o material foi conduzido a prensa. A temperatura de prensagem foi de 180°C e a pressão específica aplicada foi de 40 Kg/cm² para painéis com tempo de prensagem de 8 min. Para aqueles com tempo de prensagem de 15 min. a pressão foi escalonada em patamares de 40-20-10-5 Kg/cm² durante tempo de prensagem de 2-2-5-6 min. respectivamente.

O tempo de fechamento dos pratos da prensa constituiu-se em uma variável de estudo e foi regulado para ser de 35 ou 100 s. Independentemente do tempo de fechamento a pressão específica inicial foi mantida constante.

Após a prensagem as chapas foram identificadas, esquadrejadas e acondicionadas em câmara de climatização até obter-se umidade de equilíbrio de $\pm 12\%$.

2.4 Avaliação das propriedades — Para avaliação das propriedades dos painéis adotou-se os procedimentos recomendados pela norma americana ASTM D-1037¹.

Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE): 3 corpos de prova por painel (36,2 X 7,6 cm).

Ligação interna: 3 corpos de prova por painel (2,5 X 2,5 X 1,3 cm).

Resistência ao arrancamento de parafuso: 1 corpo de prova por painel (15,2 X 7,6 cm — face).

Os testes de ligação interna não seguiram os procedimentos da norma ASTM. O método adotado baseou-se na relação linear existente entre a tensão de cisalhamento e a ligação interna, com base em trabalho apresentado por SUCHSLAND (1977)¹².

O método estatístico empregado foi a análise fatorial de covariância.

TABELA 1: Delineamento experimental.

Espécie: Pinus taeda

Dimensões dos painéis: 50 X 55 X 1,3 cm.

Densidade: 0,7 g/cm³ (condicionada 12%)

Umidade das partículas: 3%, 5% e 10%

Umidade do colchão: 8%, 9,5% e 13%

Resina fenol-formaldeído: 5% (base peso seco do material).

Parafina: 1% (base peso seco de material).

Tempos de fechamento: 35 e 100 s.

Tempos de prensagem: 8 e 15 min.

Temperatura da prensa: 180°C.

Pressão específica: 40 Kg/cm² — 8 min.

40 Kg/cm² — 2 min.

20 Kg/cm² — 2 min.

10 Kg/cm² — 5 min.

5 Kg/cm² — 6 min.

15 min.

Número de repetições: 5.

Total de chapas: 78 (2 perdas).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das propriedades de resistência obtidos sob as diferentes condições de prensagem do material são apresentados na TABELA 2. De modo geral, quando comparamos os valores médios obtidos para as propriedades de resistência com os valores mínimos exigidos pela norma internacional CS-236-66 (1968)³, verificamos que apenas em MOE encontramos valores abaixo daqueles mínimos estabelecidos. Isto para aquelas chapas em que não se aplicou parafina sobre as partículas e que continham 3% e 5% de umidade, prensadas em tempo de fechamento de 100 s. Nos demais casos os valores mínimos observados estiveram acima dos requisitos exigidos para o tipo de painel produzido, o que demonstra que com o controle de algu-

mas variáveis do ciclo da prensa pode-se obter painéis de ótima qualidade.

A seguir apresentamos a análise da influência de cada uma das variáveis estudadas sobre as propriedades das chapas.

3.1 Umidade das partículas

O teor de umidade contido nas partículas não exerceu influência sobre as propriedades de resistência dos painéis, com exceção dos valores médios de módulo de elasticidade (MOE) obtidos de chapas cujas partículas continham 10% de umidade e que apresentaram maior valor para esta propriedade. As demais médias de MOR, ligação interna e resistência ao arrancamento de parafuso não diferiram sob a influência dos diferentes teores de umidade.

TABELA 2: Valores médios das propriedades de resistência obtidos para painéis waferboard, sob as diferentes condições impostas.

Tempo de Prensagem (min.)	Umidade das Partículas (%)	Tempo de Fechamento (s.)	Parafina (%)	MOR (Kg/cm ²)	MOE (Kg/cm ²)	Ligação Interna (Kg/cm ²)	Resistência ao Arrancamento de parafuso (Kg)
3		35	1	337	41.414	11,2	197
			0	302	37.150	11,4	217
		100	1	301	32.197	9,7	204
			0	273	28.201	10,9	231
8		35	1	361	44.658	9,9	257
			0	296	36.730	11,8	231
		100	1	281	33.948	9,3	203
			0	257	29.006	9,7	232
15		35	1	352	43.506	12,9	252
			0	350	38.831	11,6	257
		100	1	298	34.878	9,7	234
			0	275	30.735	10,0	245
15		35	1	344	46.710	10,0	223
			0	382	48.134	10,1	230
		100	1	306	38.890	9,2	242
			0	312	35.747	10,2	237
8		35	1	364	44.787	10,2	253
			0	303	37.184	12,6	224
		100	1	282	33.973	9,4	200
			0	259	29.132	10,1	228
15		35	1	351	43.500	12,7	252
			0	348	38.754	11,5	256
		100	1	283	34.588	9,5	229
			0	264	30.226	9,8	238

Relacionando-se as propriedades de resistência com o gradiente vertical de densidade das chapas podemos observar que diferentes teores de umidade nas partículas não promovem diferenciações acentuadas sobre o perfil de densidade (FIGURA 1). Isto poderia explicar a não diferenciação entre os valores médios obtidos sob os diferentes teores de umidade das partículas. É interessante observar que o desenvolvimento de maiores temperaturas, da superfície ao centro das chapas, foram registradas naquelas que continham maior teor de umidade nas partículas, esperaria-se então que a distribuição da densidade ao longo das ca-

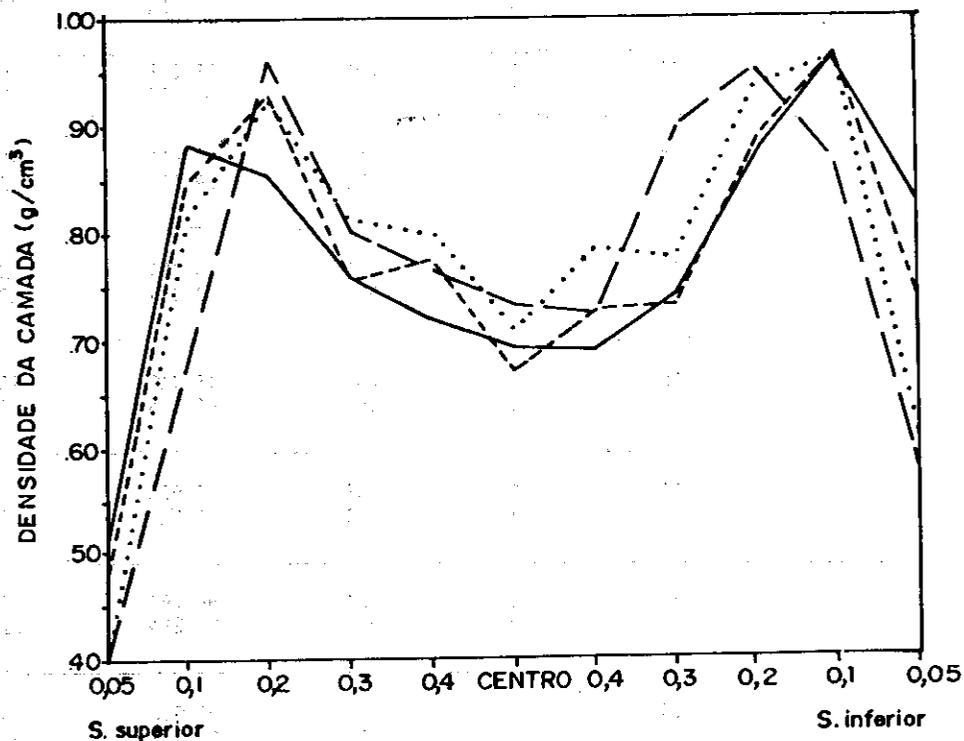
madas de partículas fosse mais uniforme, o que não se verificou. Supõe-se que com elevada quantidade de umidade migrando para o miolo, parte da eficiência da temperatura sobre a cura da resina seja perdida na evaporação da umidade, o que retardaria o processo de consolidação durante a prensagem permitindo maior densificação na superfície, mais seca e menor no interior, mais úmido.

Para partículas com menor umidade a possibilidade de cura da resina é facilitada, entretanto devido a baixa umidade a resistência a compressão aumenta e o processo de adesão fica prejudicado.

FIGURA 1: Influência da umidade das partículas e tempo de fechamento sobre o gradiente vertical de densidade. (Cada linha representa a média de 10 painéis).

LEGENDA

- TF-35 10% (dash-dot line)
- TF-100 10% (dotted line)
- TF-35 5% (dashed line)
- TF-100 5% (solid line)



3.2 Tempo de fechamento da prensa

A variável tempo de fechamento da prensa é considerada de grande influência sobre as propriedades de resistência dos painéis por muitos autores KELLY (1977)⁶, SUCHSLAND (1967)¹¹, MOSLEMI (1974)⁸. As comparações de médias

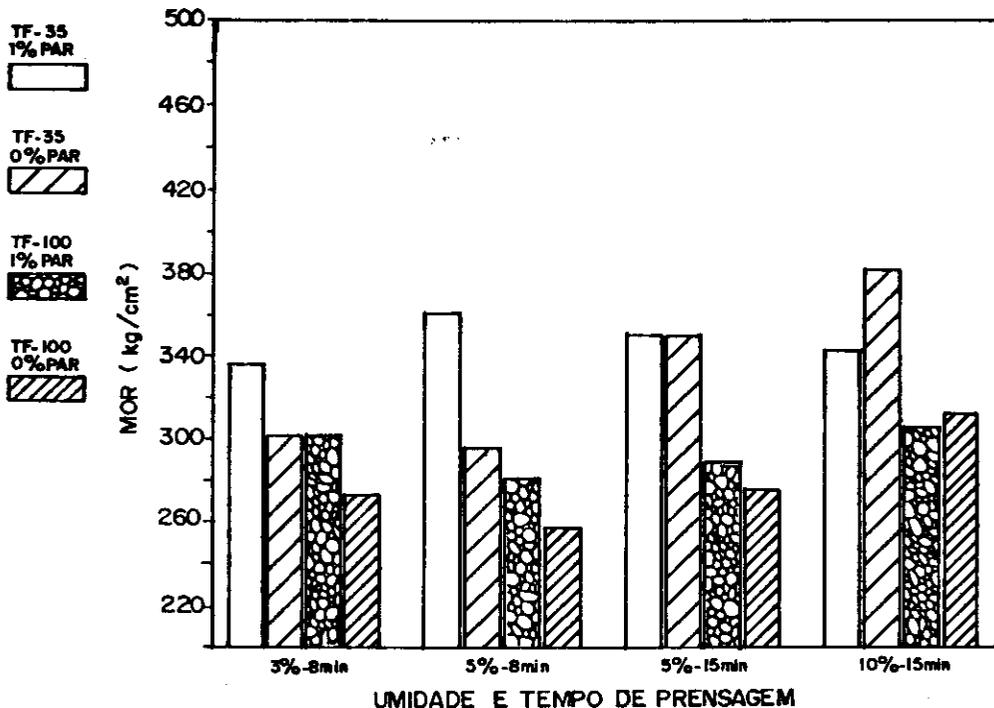
de MOR, MOE e Ligação interna comprovaram que pela aplicação de tempo mais rápido para fechamento dos pratos da prensa (35 s.) obtém-se painéis mais resistentes. O princípio teórico para confirmação desta conclusão, pelo menos para MOR e MOE, baseia-se no fato que a rápida aplicação de pressão e transfe-

rência de temperatura faz com que as camadas superficiais de partículas densifiquem mais rapidamente e em maior grau que aquelas camadas mais interiores e ainda frias. Por isso a distribuição dos esforços de compressão é desigual e a densificação é maior nas camadas superficiais. Entretanto este conceito não se aplicaria a ligação interna já que esperaria-se que o fechamento de 35 s. influísse negativamente sobre a adesão das camadas interiores de partículas resultando em menores valores médios. O que não ocorreu, pelo contrário, os maiores valores médios de ligação interna foram obtidos nestas circunstâncias.

Pelo exposto, um painel que apresente elevados valores de MOR e MOE tenderia a apresentar baixos valores de ligação interna (KELLY (1977)⁶), LEHMANN et alii (1973)⁷, STRICKLER (1959)¹⁰, devido ao fato que um fechamento mais rápido dos pratos da prensa promoveria maior densificação superficial, logo o miolo menos denso apresentaria menor valor médio de ligação interna. Por outro lado, fechamento mais lento promoveria uniformidade de densificação e agregação de partículas.

FIGURA 2: Valores médios ajustados de Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE), sob as diferentes condições impostas.

LEGENDA



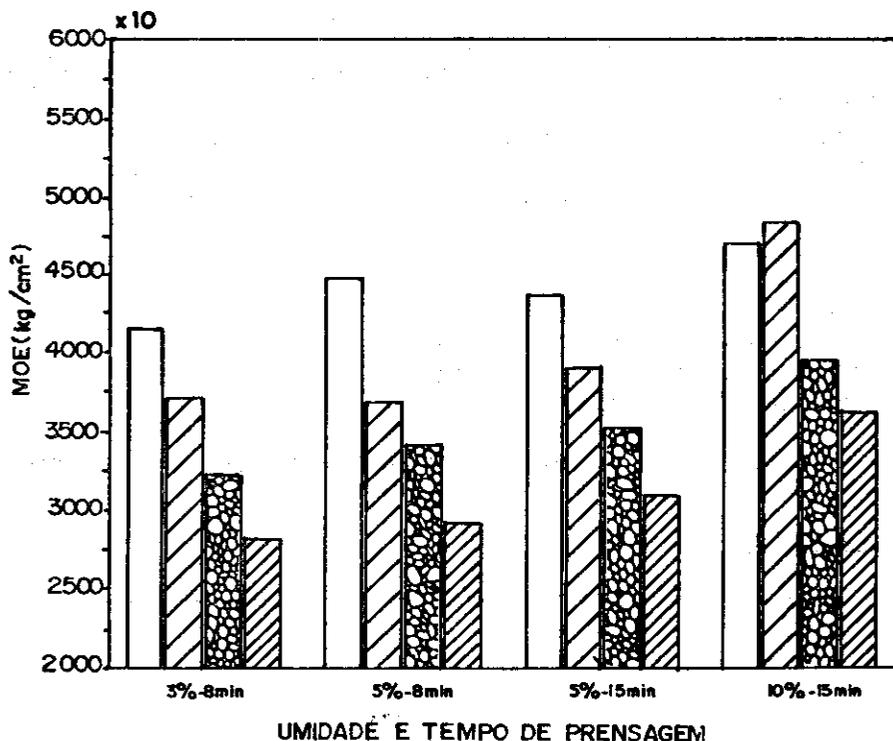
LEGENDA

TF-35
1% PAR

TF-35
0% PAR

TF-100
1% PAR

TF-100
0% PAR



O tempo de fechamento mais longo (100 s.) proporcionou um ligeiro deslocamento do ponto de maior densificação para as camadas mais interiores das chapas, resultado de uma distribuição mais gradativa dos esforços de compressão.

A análise das médias das propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso mostrou que esta propriedade não foi influenciada pelos diferentes tempos de fechamento da prensa.

3.3 Tempo de prensagem

Foram testados dois tempos de prensagem (8 e 15 min.) apenas para chapas com 5% de umidade nas partículas. A análise das médias obtidas nesta condição mostrou que não houve diferença entre os valores de MOR e MOE quando os painéis foram prensados em 8 e 15 min. o que nos leva a crer que 8 min. seja um tempo satisfatório para consolidação dos painéis. As médias das propriedades de ligação interna e resis-

tência ao arrancamento de parafuso também não diferiram sob influência do tempo de prensagem.

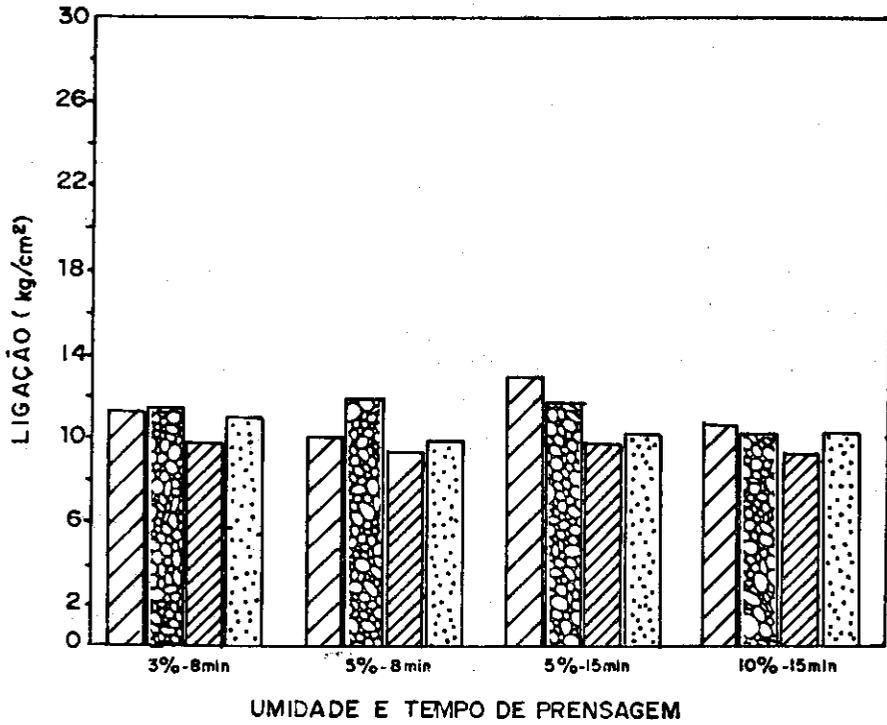
3.4 Aplicação de parafina

A parafina foi um aditivo usado visando-se aumentar a estabilidade dimensional dos painéis, entretanto constatou-se que a aplicação de 1% de parafina a partículas com 3% e 5% de umidade proporcionou incremento e diferenças significativas entre as médias das propriedades MOR e MOE. KELLY (1977)⁶ diz que a aplicação de parafina pode causar redução nas propriedades de resistência pela influência sobre a cura do adesivo, mas neste caso, provavelmente devido a baixa umidade inicial das partículas, a adição de 1% de parafina e conseqüentemente de mais umidade ao material, contribuiu na redução da resistência a compactação. Entretanto há necessidade de estudos complementares para melhor avaliar esta tendência.

FIGURA 3: Valores médios ajustados de Ligação Interna (LI) e Resistência ao Arrancamento de Parafuso (RAP) sob as diferentes condições impostas.

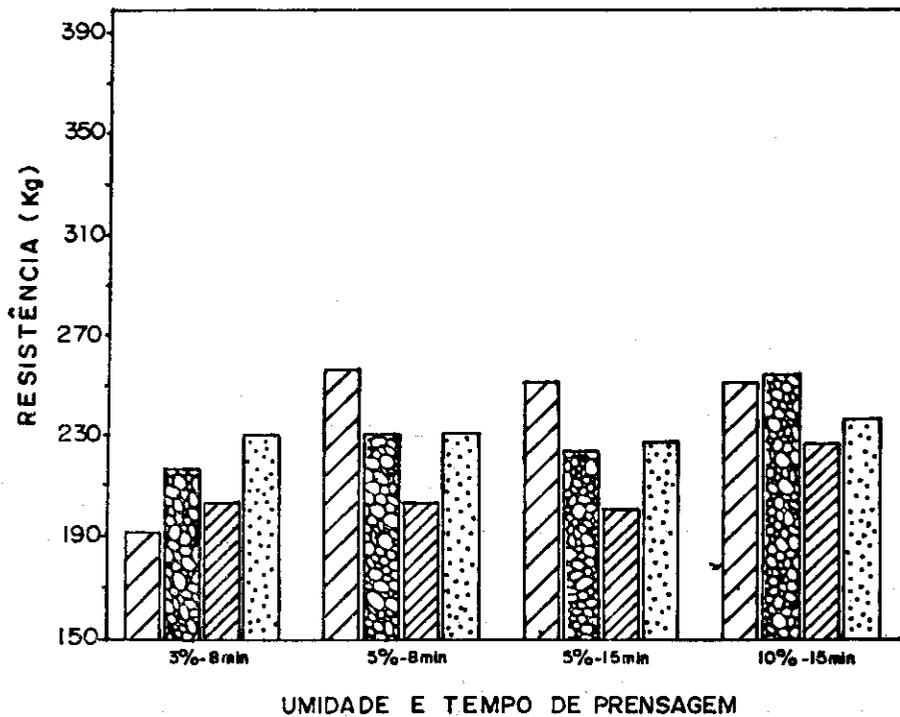
LEGENDA

- TF-35
1% PF
- TF-35
0% PF
- TF-100
1% PF
- TF-100
0% PF



LEGENDA

- TF-35
1% PF
- TF-35
0% PF
- TF-100
1% PF
- TF-100
0% PF



3.5 Interações entre as variáveis

A interação entre as variáveis ou a combinação de efeitos das variáveis principais do ciclo da prensa não apresentou influências significativas sobre o MOR e a ligação interna. Entretanto para o MOE observou-se chapas com médias diferenciadas das demais quando combinou-se umidade inicial das partículas de 10% com a aplicação de 1% de parafina sobre estas partículas. Porém esta média não diferiu daquelas de painéis em que a parafina não foi aplicada. Neste caso tudo indica que a umidade de 10% foi o fator mais importante atuando sobre esta propriedade. Já para a resistência ao arran-

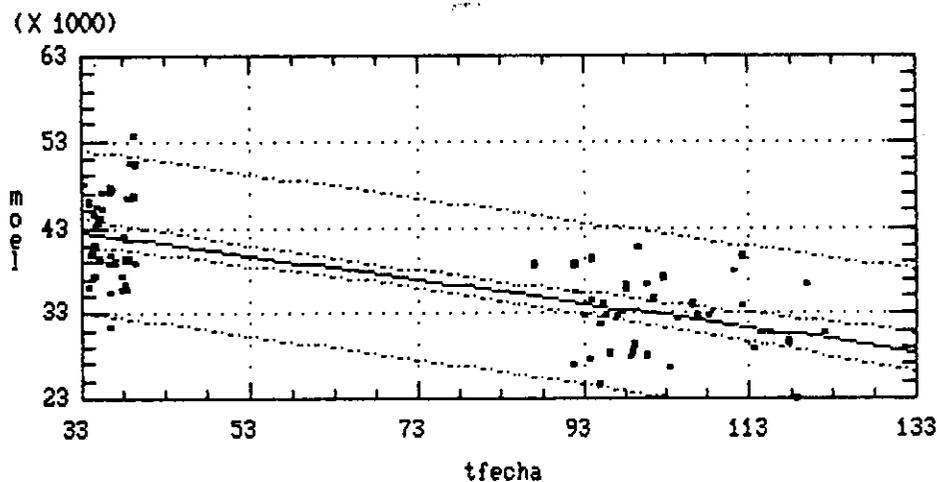
camento de parafuso a combinação de um conteúdo de umidade de 5% nas partículas com um tempo de fechamento de 35 s. em painéis prensados em 8 min., resultou em maiores valores médios para esta propriedade.

Podemos observar que poucas foram as combinações de variáveis que exerceram influência acentuada sobre as propriedades de resistência de modo a proporcionar diferenças entre as médias obtidas. Mesmo assim isto não impediu que os resultados obtidos para as propriedades fossem considerados satisfatórios, dentro de padrões aceitáveis internacionalmente.

FIGURA 4: Relação linear entre o Módulo de elasticidade (Y) e o Tempo de fechamento da prensa (X).

$$Y = 47248,6 + (-141,108)X$$
$$R = -0,714857$$
$$R^2 = 0,5110$$
$$F = 79,426$$

78 OBSERVAÇÕES



4. CONCLUSÕES

— A variável tempo de fechamento de 35 s. apresentou maior influência sobre as propriedades de resistência MOR, MOE e mesmo ligação interna.

— A umidade contida nas partículas exerceu influência apenas sobre a propriedade MOE, não causando diferenças significativas entre as demais médias de propriedades.

— A aplicação de 1% de parafina as partículas com baixo teor de umidade

(3% e 5%) proporcionou incremento e diferenciação de médias de MOR e MOE, não sendo possível analisar com precisão esta constatação.

— Observou-se que o gradiente vertical de densidade apresenta certa relação com as propriedades de resistência, sendo que seu perfil final é influenciado principalmente pelo tempo de fechamento dos pratos da prensa.

— Para obter-se painéis com elevadas propriedades de resistência a variável mais importante a ser controlada é o

mais rápido tempo de fechamento da prensa, que atua diretamente sobre a formação do gradiente vertical de densidade.

5. RESUMO

Nesta pesquisa foi estudada a influência de algumas das variáveis mais importantes do ciclo da prensa sobre as propriedades de resistência, na produção de painéis do tipo wafer empregando-se a espécie *Pinus taeda*. Foram analisados o teor de umidade das partículas (3%, 5% e 10%), o tempo de fechamento dos pratos da prensa (35 e 100 s.), o tempo de prensagem (8 e 15 min) e a aplicação de 1% de parafina as partículas. O tempo de fechamento de 35 s. foi o que proporcionou resultados mais positivos sobre as propriedades de resistência dos painéis (MOR, MOE, ligação interna). O teor de umidade das partículas influenciou apenas sobre os valores de MOE. O tempo de prensagem não influenciou sobre nenhuma das propriedades avaliadas. A aplicação de 1% de parafina as partículas proporcionou aumento nas médias das propriedades MOR e MOE. O gradiente vertical de densidade não apresentou tendências distintas sob efeito das variáveis testadas, mostrando alguma diferenciação em seu perfil apenas sob efeito do tempo de fechamento.

De modo geral os painéis produzidos foram de boa qualidade, os valores médios obtidos para as propriedades de resistência estiveram acima dos valores mínimos estabelecidos pela norma internacional, com exceção do MOE em chapas com 3% e 5% de umidade nas partículas, 0% de parafina e tempo de fechamento de 100 s.

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. BRITO, E. O. A viabilidade de utilização de espécies de *Pinus* para a produção de chapas de composição estruturais "waferboards". Curitiba, 1984. 104 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
3. COMMERCIAL Standard C.S. 236-66. Mat formed wood particleboard, 1968.
4. GEIMER, R. L.; MONTREY H. M. & LEHMANN, W. F. Effects of layer characteristics on the properties of three-layer particleboards. *For. Prod. J.*, 25(3): 19-29, 1975.
5. KEINERT Jr., S. Laboratory evaluation of *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus robusta* for the manufacture of composition board. Michigan, 1980. 184 p. Dissertação. Doutorado. Michigan State University.
6. 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.
7. LEHMANN, W. F.; GEIMER, R. L. & HEFTY, F. V. Factors affecting particleboard pressing time: interactions with catalyst systems. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL-208, 1973. 20 p.
8. MOSLEMI, A. A. Particleboard. Illinois, Southern Illinois University Press, 1974. v. 2, 245 p.
9. SMITH, D. C. Waferboard press closing strategies. *For. Prod. J.*, 32(3): 40-45, 1982.
10. STRICKLER, M. D. Effect of press cycle and moisture content on properties of Douglas-fir flakeboard. *For. Prod. J.*, 9(7): 203-215, 1959.
11. SUCHSLAND, O. Behavior of a particleboard mat during the pressing cycle. *For. Prod. J.*, 17(2): 51-57, 1967.
12. ———. Compression shear test for determination of internal bond strength in particleboard. *For. Prod. J.*, 27(1): 32-36, 1977.
13. ———. & WOODSON, G. E. Effect of press cycle variables on density of medium-density fiberboard. In: EIGHTH WASHINGTON STATE UNIVERSITY SYMPOSIUM ON PARTICLEBOARD. Proceedings. Washington, Washington State University, 1974. p. 375-396.
14. WINER, B. J. Statistical principles in experimental design. 2 ed. New York, McGraw-Hill, 1971, 907 p.