

EFEITO DO TEOR DA PARAFINA NAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DE PAINÉIS AGLOMERADOS DE *Pinus oocarpa*

José Benedito Guimarães Junior¹, Lourival Marin Mendes², Rafael Farinassi Mendes³,
Bárbara Maria Ribeiro Guimarães⁴, Rafael Rodolfo de Melo⁵

Resumo: Este trabalho objetivou avaliar as propriedades físico-mecânicas em painéis aglomerados, utilizando diferentes teores de parafina. Para isso, foram produzidos em laboratórios painéis aglomerados de madeira de *Pinus oocarpa* e concentrações de parafina de 0; 1; 1,5 e 2%. Avaliou-se a qualidade dos painéis por meio de suas propriedades físicas e mecânicas, conforme recomendações da norma American Society for Testing and Materials (ASTM, 2002) e Deutsches Ins Titut fur Normung (DIN, 1982), respectivamente. A partir dos resultados pode-se afirmar que o aumento da porcentagem de parafina proporcionou uma melhoria na estabilidade dos painéis e aumento da resistência a compressão. Para as propriedades de flexão estática (Módulo de elasticidade e Módulo de ruptura) e tração perpendicular não se observou variações significativas de seus valores com o aumento dos teores de parafina.

Palavras-chave: Higroscopicidade; absorção de água; inchamento em espessura.

EFFECT OF THE PARAFFIN CONTENT ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS OF *Pinus oocarpa* WOOD

Abstract: This study aimed to evaluate the physical-mechanical properties of particleboard from pine, with different levels of paraffin. To this, were produced in laboratories panels of pine wood *Pinus oocarpa* paraffin and concentration of 0; 1; 1,5 and 2%. We evaluated the quality of the panels through its physical and mechanical properties, as recommended by standard American Society for Testing and Materials (ASTM, 1999) and Deutsches Ins Titut fur Normung (DIN, 1982), respectively. From the results it can be stated that with the increase of the percentage of paraffin the better dimensional stability and increased compression

¹ Dr. em Ciência e Tecnologia da Madeira pela Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, <jbguimaraesjr@hotmail.com>.

² Dr. em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, <lourival@ufpr.br>.

³ Mestre em Recursos florestais pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Piracicaba, SP, <rafael_farinassi@hotmail.com>.

⁴ Mestre em Ciência e Tecnologia da Madeira pela Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, <bmr2115@yahoo.com.br>.

⁵ Dr. em Ciências Florestais pela Universidade de Brasília, Brasília, DF, <rrmelo2@yahoo.com.br>.

resistance. For the bending properties (MOE and MOR) and tensile perpendicular, there was no significant variation in their values with increasing concentrations of paraffin.

Keywords: Hygroscopicity; water absorption; thickness swelling.

1 INTRODUÇÃO

A utilização de painéis particulados à base de madeira encontra-se em contínua evolução tecnológica, destacando pesquisas direcionadas a um maior e melhor aproveitamento desse recurso. Portanto, é de grande importância o estudo dos parâmetros que irão influenciar na qualidade dos painéis de partículas de madeira. Os principais parâmetros são o tipo e quantidade de adesivo, teor de parafina, razão de compactação, densidade dos painéis, geometria das partículas, dentre outros; sendo que estes interagem entre si, influenciando nas propriedades dos painéis aglomerados (MALONEY, 1993).

Uma das limitações do uso dos aglomerados convencionais se refere aos altos valores de umidade absorvida. Esse fenômeno ocorre porque a madeira e seus produtos apresentam grupos hidroxílicos (OH-) livres, principalmente na região amorfa da celulose e hemiceluloses. Quando este material é reduzido a partículas sua área superficial é aumentada. Dessa forma existe um maior contato entre ela e a água, o que gera nos painéis particulados altos valores de absorção de água e inchamento em espessura.

A parafina, ao ser adicionada ao processo produtivo de painéis aglomerados, tem a finalidade de aumentar sua estabilidade dimensional, reduzindo a higroscopicidade dos mesmos. Isso ocorre devido ao fato da parafina ser um alceno, apolar, que tem como característica a hidrofobia, ou seja, não apresenta afinidade com a água. Assim essa substância age formando uma película de proteção nas partículas, impermeabilizando-as. Isso promove a melhora das propriedades físicas dos painéis, principalmente no que se refere à água líquida, sendo que para o vapor d'água o mesmo não é constatado (IWAKIRI, 2005).

Matos (1988) relatou que o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR) apresentaram maiores valores quando foi adicionado 1% de parafina às partículas com umidade de 3 e 5% para produção de painéis aglomerados do tipo waferboard.

Kelly (1977) afirmou que aplicações de parafina acima de 1% baseado na massa seca do material causam reduções nas propriedades de resistência dos painéis pela influência sobre a reação de cura do adesivo.

Winistorfer et al. (1992), ao avaliarem dez tipos e três níveis de parafina na produção de painéis OSB (Oriented Strand Board), concluíram que inserção da mesma melhorou a

estabilidade dimensional. No entanto, a elevação nos níveis de parafina nos painéis acarretava uma redução na propriedade de tração perpendicular.

Nas indústrias de painéis a parafina é empregada numa proporção máxima em torno de 1,5%. Uma proporção mais elevada não é eficiente na redução de absorção de água e inchamento em espessura (CLOUTIER, 1998).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes teores de parafina nas propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados produzidos a partir da madeira de *Pinus oocarpa*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Produção de painéis aglomerados

Para confecção dos painéis utilizou-se madeira de *Pinus oocarpa* Schiede, obtida em plantios homogêneos, localizados na Universidade Federal de Lavras (UFLA) e com idade aproximada de 30 anos. Foram abatidas 6 árvores, sendo retirados toretes da base. Os mesmos foram totalmente transformados em cavacos e, posteriormente, em partículas do tipo “sliver”, as quais foram utilizadas na produção dos aglomerados. As dimensões e densidade para os painéis foram respectivamente de 480 mm x 480 mm x 15 mm e 0,70 g/cm³. Cada tratamento correspondeu a diferentes quantidades de parafina: 0; 1; 1,5 e 2% . Estes foram aplicados em relação ao teor de sólidos da emulsão, que neste caso foi de 41%. Para cada tratamento foram produzidos 3 painéis, dos quais foram retirados 4 corpos de prova para cada uma das propriedades mecânicas e 4 para avaliação das propriedades físicas.

O adesivo utilizado foi uréia-formaldeído com teor de sólidos de 65%; pH de 8,42; viscosidade de 480 centipoises (cP) e tempo de gelatinização de 51 segundos. Foram aplicados 8% de adesivo à base seca das partículas, levando-se em consideração seu conteúdo de sólidos resinosos.

As partículas geradas foram então secas até o conteúdo de umidade de 3%. Para tanto foi utilizada estufa com circulação de ar forçada. Inicialmente, a mesma foi realizada com temperatura de 60°C e, posteriormente, aumentada gradativamente até atingir 100°C. Uma vez com a umidade pré-determinada, as partículas foram peneiradas, sendo utilizadas para produção do painel aquelas que ficavam retidas entre as peneiras de 10 e 30 mesh.

O adesivo e a parafina foram aplicados por meio de aspersão, com a utilização de pistolas, em um encolador do tipo tambor giratório. Ao saírem do tambor, as partículas

impregnadas foram conduzidas a uma caixa formadora do colchão com as dimensões de 480 mm x 480 mm para ganharem a largura e o comprimento do painel.

O colchão foi conduzido à pré-prensagem a frio, que foi realizada em uma prensa manual, com o objetivo de dar uma melhor conformação ao colchão e gerar um maior contato entre as partículas, promovendo uma melhor colagem final. Em seguida, o painel foi levado a uma prensa hidráulica. O ciclo de prensagem utilizado foi com a temperatura de 160°C, tempo de 8 minutos e pressão específica de 3,92 MPa.

2.2 Propriedades físico mecânicas avaliadas

As seguintes propriedades físico-mecânicas foram determinadas: flexão estática realizada conforme recomendações da norma DIN (1982); e os ensaios de compressão, tração perpendicular, absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão realizados conforme recomendações da norma ASTM (2002). Os corpos de prova foram então empilhados e mantidos em câmara de climatização a uma temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, até atingirem massa constante.

2.3 Delineamento estatístico

Foi empregado o delineamento inteiramente casualizado com três repetições em que os tratamentos constituíam a utilização de diferentes porcentagens de parafina na produção de painéis. Suspeitando-se que a densidade pudesse afetar as propriedades do painel, procedeu-se a uma análise de covariância, com as médias ajustadas para a densidade do painel. Para a avaliação das propriedades dos painéis entre os tratamentos foi utilizada análise de variância, com posterior comparação pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi detectado, como mostra a Tabela 1, efeito estatisticamente significativo das porcentagens de parafina sobre a absorção de água em 2 e 24 horas. Pôde-se verificar que ambas as propriedades físicas analisadas são estatisticamente significativas.

Tabela 1. Resumo da análise de variância para absorção de água em 2 (AA2horas) e 24 (AA24horas) horas, segundo os tratamentos estudados.

Table 1. Summary of analysis of variance for absorbing water in two (AA2horas) and twenty-four hours (AA24horas), according to the treatments.

Fontes de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		AA2horas	AA24horas
Porcentagem de parafina	3	4946,63 (p<0,0001)	1772,83(p=0,0002)
Erro	8	117,55	66,96
CV (%)		18,23	9,23

Gl: Graus de liberdade CV (%): Coeficiente de variação em porcentagem

Observou-se relação linear decrescente entre a absorção de água (2 e 24 horas) em função do aumento da porcentagem de parafina, utilizada na produção dos painéis. Para a absorção de água em 2 horas o aumento de 1% de parafina na produção de painéis promove uma redução de aproximadamente 47% na absorção de água, já para absorção de água em 24 horas esta redução passa para 24% a cada aumento de 1% de parafina na produção de painéis (Figura 1).

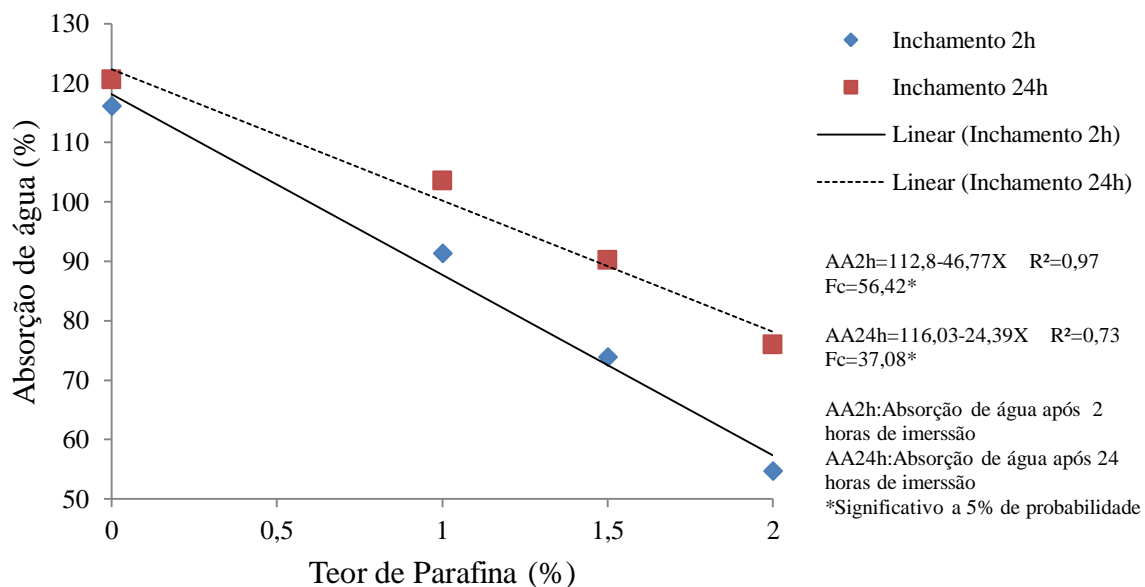


Figura 1. Valores médios de absorção de água em 2 e vinte e 24 horas em função das porcentagens de parafina.

Figure 1. Average values of water absorption in two and twenty-four hours (%) depending on the percentages of paraffin.

Mendes et al. (2002) trabalhando com diferentes espécies de pinus na produção de painéis OSB, variando a quantidade de parafina de 0 a 1%, obtiveram uma diminuição do valor de absorção de água após 2 horas de imersão de 10,09% e, para 24 horas, de 12,23%. O ganho obtido por esses autores foi menor que o observado neste estudo, provavelmente em virtude de terem utilizado partículas do tipo “strand”. Estas apresentam áreas superficiais inferiores às utilizadas neste trabalho, e, portanto, tem menor capacidade de reação com a parafina. Outro aspecto é que estes autores utilizaram o adesivo fenol-formaldeído, que apresenta uma resistência à água muito superior quando comparado a uréia-formaldeído, adesivo utilizado nesta pesquisa. Essa maior resistência faz com que a atuação da parafina seja mais acentuada, uma vez que o próprio adesivo atua diminuindo a entrada de água no painel.

Pode-se ainda ressaltar que o efeito do incremento de parafina se mostra mais eficiente em curto prazo de exposição do painel à umidade, uma vez que na Figura 1 nota-se que a curva de absorção de água após 24 horas encontra-se acima da curva de 2 horas. Essa redução da absorção de água pela inserção de parafina também foi notada por Matos (1988) e Winistorfer et al. (1992). Uma possível causa para esse fenômeno é que a incorporação de parafina ao colchão acarretaria redução da higroscopicidade das partículas, pois esta substância é hidrofóbica e atuaria formando uma película, impermeabilizando-as.

Os resultados experimentais apresentados na Tabela 2 mostram que também existe efeito estatístico significativo das porcentagens de parafina sobre o inchamento em espessura, tanto em 2 como em 24 horas.

Tabela 2. Resumo da análise de variância para inchamento em espessura em 2 (Ie2horas) e 24 (Ie24horas) horas, segundo os tratamentos estudados.

Table 2. Summary of analysis of variance for swelling in thickness in two (Ie2horas) and twenty-four hours (Ie24horas), according to the treatments

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		Ie2horas	Ie24horas
Porcentagem de parafina	3	262,6824 (p<0,0001)	78,9224 (p<0,0001)
Erro	8	4,3471	6,5269
CV (%)		9,79	7,05

Gl: Graus de liberdade CV (%): Coeficiente de variação em porcentagem

Na Figura 2 pode-se observar que existe uma relação linear decrescente entre o inchamento em espessura em 2 horas e a porcentagem de parafina utilizada na produção dos

painéis, ou seja, para cada aumento de 1% de parafina na produção de painéis há uma redução de aproximadamente 10,9% no inchamento em espessura. Para o inchamento em espessura em 24 horas em relação ao teor de parafina aplicado, a melhor relação observada foi a quadrática, em que o máximo de inchamento é observado para uma porcentagem de aproximadamente 0,5% de parafina. A mesma tendência da absorção de água é observada no inchamento em espessura, sendo que o efeito do incremento de parafina apresentou-se mais eficiente em curto prazo de exposição do painel à umidade.

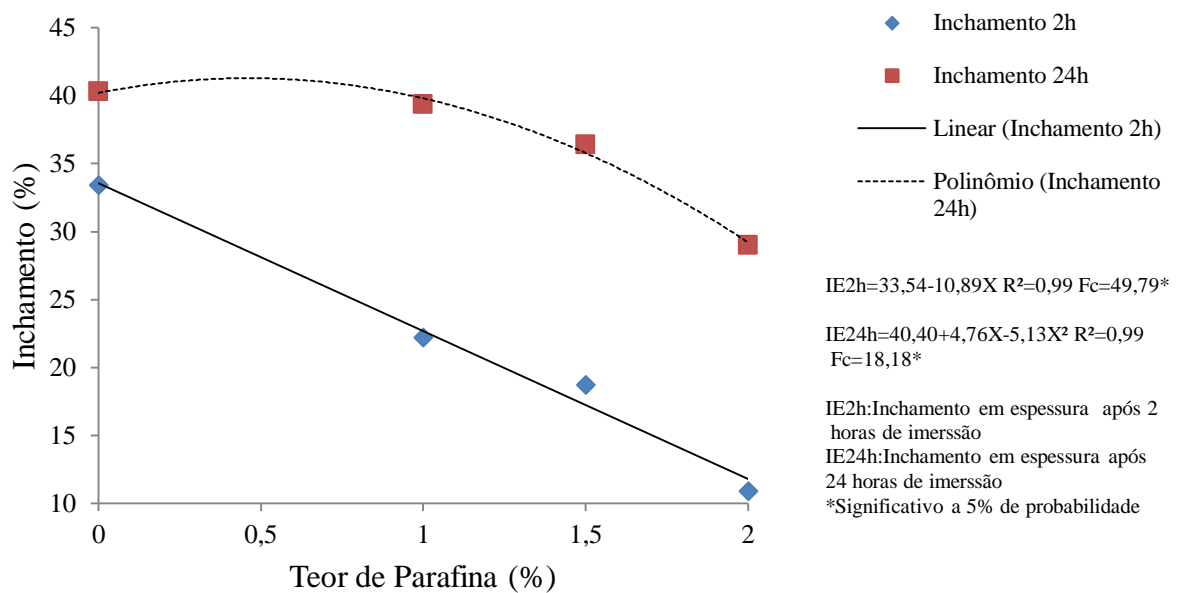


Figura 2. Valores médios de inchamento em espessura em duas e vinte e quatro horas (%) em função das porcentagens de parafina.

Figure 2. Average values of swelling in thickness in two and twenty-four hours (%) depending on the percentages of paraffin

Produzindo painéis de partículas orientadas de *Eucalyptus grandis* com níveis de parafina de 0; 0,5 e 1%, Iwakiri et al. (2003) observaram que o inchamento em espessura após 2 horas de imersão decrescia com o aumento de 1% de parafina em 3,47%. Essa tendência foi observada neste estudo, porém com um valor maior, o que pode ter ocorrido em virtude daqueles autores terem utilizado partículas do tipo “strand” e adesivo fenol-formaldeído. Para imersão em água em 24 horas, os mesmos autores citaram valores de inchamento em espessura de 15,71; 16,11 e 11,12%, respectivamente para os teores de parafina de 0; 0,5 e 1%.

Na Tabela 3 estão apresentados os valores das propriedades físicas dos painéis, em função dos teores de parafina aplicados. Observa-se, de maneira geral, que o tratamento que

apresentou o melhor desempenho para todas as propriedades físicas avaliadas, com menores valores, foi aquele com a inserção de 2,0% de parafina. Contudo na absorção de água após 24 horas de imersão este tratamento foi estatisticamente igual àquele com conteúdo de parafina de 0,5%. No inchamento após 24 horas de imersão, os painéis produzidos com 1,0% de parafina foram iguais estatisticamente aos confeccionados com 2,0%.

Tabela 3. Valores médios das propriedades físicas para os diferentes tratamentos.

Table 3. Mean values of physical properties for the different treatments.

Teor de Parafina (%)	Absorção de água		Inchamento em espessura	
	2 horas	24 horas	2 horas	24 horas
0,0	116,05 C	120,47 C	33,40 C	40,29 B
0,5	54,61 B	75,87 A	22,19 B	39,34 B
1,0	47,46 B	93,47 B	18,69 B	36,42 A
2,0	19,75 A	64,69 A	10,88 A	28,98 A

Médias seguidas por mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Scott Knott, $p > 0,05$).

Na Tabela 4 encontram-se os resultados da análise de covariância para os módulos de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), considerando a densidade dos painéis como covariável. A regressão linear apresentou-se significativa para o MOE e MOR, indicando que existe uma relação linear entre essas variáveis e a densidade dos painéis.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR), segundo os tratamentos estudados, tendo a densidade do painel como covariável.

Table 4. Summary of analysis of variance for modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR), according to the treatments studied, and the density of the panel as covariate.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		MOE	MOR
Regressão linear	1	13.972.939,92 (p=0,0235)	2921,8753 (p=0,0363)
Porcentagem de parafina ajustado	3	6.948.344,04 (p=0,0555)	1.022,8434 (p=0,1600)
Erro ajustado	7	1.679.271,34	437,6079
CV (%)		10,86	14,99

Gl: Graus de liberdade CV (%): Coeficiente de variação em porcentagem

Na Tabela 5 pode ser observada a influência da adição de parafina nos valores médios de MOE e MOR. Observa-se que não houve diferenças estatísticas significativas entre as médias, indicando que o aumento de parafina no processo de produção de painéis aglomerados (entre 0 e 2%), não acarretou qualquer alteração em suas propriedades de flexão

estática. Iwakiri et al. (2003) ao trabalharem com painéis OSB de *Eucalyptus grandis* e utilizando 4,5% de adesivo, observaram um acréscimo nos valores médios de MOE e MOR com o incremento de parafina. Esta mesma tendência foi observada para este estudo, apesar de não se mostrarem estatisticamente diferentes.

A Commercial Standard (CS, 1966) exige valores mínimo de MOE de 2450 MPa e MOR de 11,2 MPa. Neste sentido nenhum dos tratamentos alcançou as exigências no que se refere ao MOE. Já para o MOR apenas o tratamento com 0% de parafina não se adequou à normatização.

Tabela 5. Valores médios de módulo de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR), em MPa, segundo os tratamentos estudados, ajustadas para a densidade dos painéis.

Table 5. Values of modulus of elasticity (MOE) and rupture (MOR) in MPa, according to the treatments studied, adjusted to the density of the panels.

Teor de parafina (%)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
0,0	903,97 A	10,58 A
1,0	1235,04 A	14,14 A
1,5	1230,90 A	14,55 A
2,0	1380,87 A	16,53 A

Médias seguidas por mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Scott Knott, $p > 0,05$).

Na Tabela 6 estão apresentados os resultados da análise para compressão e tração perpendicular, na qual se verifica efeito significativo e não significativo das porcentagens de parafina, respectivamente.

Tabela 6. Resumo da análise de variância para compressão (COMP) e tração perpendicular (TP), segundo os tratamentos estudados.

Table 6. Summary of analysis of variance for compression (COMP) and internal link (TP), according to the treatments studied.

Fonte de variação	Gl	Quadrado médio (p-valor)	
		COMP	TP
Porcentagem de parafina	3	1.707,9243 (p=0,0207)	2,9621 (p=0,2348)
Erro	8	293,0918	1,6958
CV (%)		33,82	16,87

Gl: Graus de liberdade CV (%): Coeficiente de variação em porcentagem

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados de compressão e tração perpendicular em função de diferentes teores de parafina aplicados aos painéis. Na compressão o tratamento com 0,0% de inserção de parafina foi o que apresentou menor resistência, sendo que os

demais foram estatisticamente iguais e superiores. Para tração perpendicular não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos. Os valores variaram entre 6,48 e 8,79 MPa, para teores de parafina de 1,0 e 2,0%, respectivamente.

Tabela 7. Valores médios de compressão e tração perpendicular para os diferentes tratamentos

Table 7. Mean values of compression and tension perpendicular to the different treatments.

Teor de Parafina (%)	Compressão (MPa)	Tração perpendicular (MPa)
0,0	15,36 A	7,42 A
0,5	56,79 B	8,16 A
1,0	63,64 B	6,48 A
2,0	56,79 B	8,79 A

Médias seguidas por mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Scott Knott, $p > 0,05$).

Winistorfer et al. (1992) observaram que o aumento de parafina no painel provocava uma diminuição dos valores de tração perpendicular, devido a provável interferência negativa sobre a polimerização do adesivo. Iwakiri et al. (2003) também encontraram o mesmo efeito, de diminuição da propriedade de tração perpendicular, com o aumento da parafina. Contudo, essa tendência não foi verificada nesta pesquisa. Esse fato pode ser explicado, uma vez que os autores utilizaram em seus trabalhos adesivo fenol-formaldeído e partículas do tipo “strand”, promovendo fenômeno diferente do observado nesta pesquisa. A CS (1966) exige valor mínimo de tração perpendicular de 0,49 MPa. Neste sentido, todos os tratamentos se mostraram bem acima deste valor exigido.

Na Figura 3 pode-se observar que existe uma relação quadrática entre a compressão e a porcentagem de parafina utilizada na produção dos painéis, em que o máximo de compressão é observado para uma porcentagem de aproximadamente 1,4% de parafina. Nota-se que o ganho em valores de compressão é grande com a inserção de parafina. Esses resultados se mostram contrastantes aos de Mendes et al. (2002) ao trabalhar com painéis OSB, variando teores de parafina entre 0 e 1%, não observando efeito significativo sobre a propriedade de compressão. Essa mesma tendência também foi observada por Iwakiri et al. (2003).

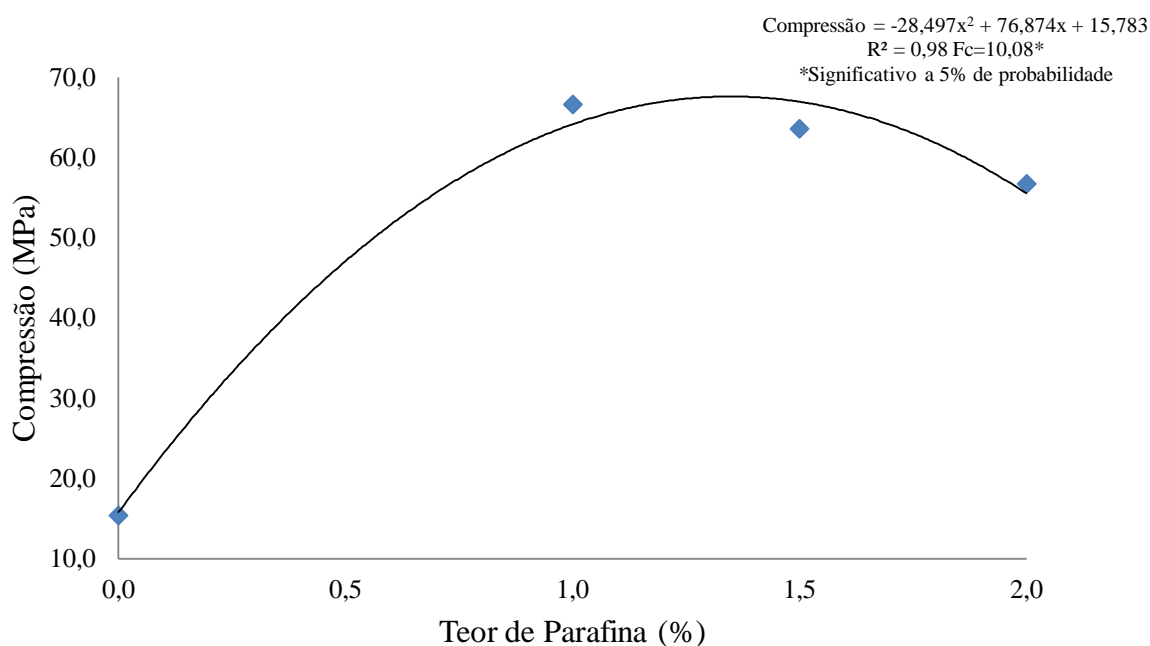


Figura 3. Valores médios de compressão (MPa) em função das porcentagens de parafina.
Figure 3. Average values of compression (MPa) depending on the percentages of paraffin.

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- ✓ O incremento da parafina entre 0,0 e 2,0% proporcionou aos painéis uma maior estabilidade dimensional, reduzindo os percentuais de absorção de água e inchamento em espessura.
- ✓ Dentre os ensaios mecânicos analisados, a compressão foi o único que apresentou efeito da adição de parafina, tendo os teores mais elevados proporcionado uma menor resistência dos painéis.

5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM: D-1037-34.22:** standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philadelphia: ASTM, 2002. 30p.

CLOUTIER, A. Oriented strand board (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: International seminar on solid wood

products of high technology, 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

COMMERCIAL STANDARD. **CS-236**: Mat formed wood particle board. San Francisco: CS, 1966.

DEUTSCHES INS TITUT FUR NORMUNG. **DIN: 52362**: Testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. Berlin: DIN, 1982. 40p.

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

IWAKIRI, S.; MENDES, M. L.; SALDANHA, K. L. Produção de chapas de partículas orientadas “OSB” de *Eucalyptus grandis* com diferentes teores de resina, parafina e composição em camada. *Ciência Florestal*, **Santa Maria**, v.13, n .1, p. 89-94, 2003.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard**. USDA Forest Service Rep. FPL, v. 10, p. 66, 1977.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiber board manufacture**. San Francisco: Miller Freeman, v.2, p. 689, 1993.

MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais “Waferboards”**. Curitiba. 1988. 163 f. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, 1988.

MENDES, L. M. et al., *Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas- OSB. *Ciência Florestal*, **Santa Maria**, v. 12, p. 135-145, 2002.

WINISTORFER, P. M.; MCFARLAND, D. L.; RICHARD, C. S. Evaluating the performance of ten wax formulations and three application rates on properties of oriented strand board. In: Proceedings of the twenty-sixth Washington State University International Particleboard-Composite Materials Symposium. **Anais...** Pulmann, 1992, p. 236 - 250.