

Correlações entre as Propriedades Físicas e Mecânicas de Painéis Aglomerados de Diferentes Espécies de *Eucalyptus*

Thiago de Paula Protásio¹, José Benedito Guimarães Júnior²,
Rafael Farinassi Mendes¹, Lourival Marin Mendes¹,
Bárbara Maria Ribeiro Guimarães¹

¹Departamento de Ciências Florestais – DCF, Universidade Federal de Lavras – UFLA

²Departamento de Engenharia Florestal – DEF, Universidade Federal do Piauí – UFPI

RESUMO

Objetivou-se avaliar as correlações existentes entre as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados de três espécies de *Eucalyptus*. Foram avaliadas a densidade aparente, razão de compactação, inchamento em espessura, taxa de não retorno em espessura, absorção de água, módulo de elasticidade e ruptura, ligação interna e resistência à compressão. Para os painéis produzidos com *Eucalyptus grandis*, observou-se acréscimo do módulo de elasticidade com o aumento da razão de compactação e da densidade aparente. Observou-se ainda diminuição das propriedades de flexão estatística com o aumento da absorção de água. Para os painéis produzidos com *Eucalyptus cloeziana*, observaram-se altas correlações entre os módulos de elasticidade e de ruptura com a ligação interna. Observou-se tendência de aumento do inchamento em espessura depois de 2 horas, com o aumento da densidade aparente e da razão de compactação para os painéis produzidos com a madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*.

Palavras-chave: relações lineares, aglomerados, eucalipto.

Correlations Between Physical and Mechanical Properties of Particleboards from Different *Eucalyptus* Species

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the correlations between physical and mechanical properties of particleboards made from three *Eucalyptus* species. Apparent density, compression rate, thickness swelling, elastic modulus, rupture modulus, internal bonding and compression were evaluated. For panels made from *Eucalyptus grandis*, an increase of the elastic modulus with increases in compression ratio and apparent density was observed. A decrease in the properties of static bending with increases in water absorption was also observed. For the particleboards made from *Eucalyptus cloeziana*, high correlation was observed between elastic and rupture modulus and internal bonding properties. It was also possible to observe a tendency in the increase of thickness swelling after 2 hours, with increases in apparent density and compression ratio of the panels made with *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus cloeziana*.

Keywords: linear relations, particleboards, *Eucalyptus*.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a área total de florestas plantadas com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* totalizou 6.510.693 ha no ano de 2010, sendo que 73,0% correspondem à área de plantios de *Eucalyptus* e 27,0% a plantios de *Pinus*. A maior concentração de plantios dessas espécies ocorre nas regiões Sul e Sudeste do País (75,2%), onde estão localizadas as principais unidades dos segmentos de celulose e papel, painéis de madeira e siderurgia a carvão vegetal (ABRAF, 2011).

Os mais diversos setores madeireiros como o de painéis de madeira industrializada, o setor moveleiro e madeira processada mecanicamente são abastecidos predominantemente pela matéria-prima proveniente dessas florestas. Cerca de 21,1% dos plantios de *Pinus* e 6,8% dos plantios de *Eucalyptus* são destinados ao setor de painéis de madeira reconstruída (ABRAF, 2011).

Os painéis aglomerados, atualmente conhecidos como MDP, são produzidos com partículas do tipo *sliver* aglutinadas com um adesivo sintético e consolidadas sob alta pressão e temperatura (Freire et al., 2011) e são os painéis mais consumidos no mundo, sendo utilizados na fabricação de móveis retilíneos (tampas de mesas, laterais de armários, estantes e divisórias) e, de forma secundária, na construção civil (Biazus et al., 2010). Nesse sentido, pesquisas relacionadas à avaliação da qualidade dos painéis aglomerados são fundamentais para atender o mercado consumidor e as normas técnicas vigentes.

A determinação das relações existentes entre as propriedades físicas e mecânicas pode auxiliar na melhoria do processo de produção, uma vez que indiretamente se pode melhorar alguma propriedade do painel tomando-se como base outra propriedade. Além disso, conhecendo-se as correlações entre as variáveis, podem-se ajustar modelos estatísticos lineares simples ou múltiplos para a estimativa indireta de alguma propriedade que demanda mais tempo e custo de determinação considerando-se outra variável de mais simples obtenção.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as correlações existentes entre as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados

produzidos com a madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

As árvores das espécies *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana* foram obtidas com 31 anos de idade no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Tais árvores, depois de divididas em toras, foram laminadas em torno rotativo para a obtenção de lâminas com 2 mm de espessura, as quais foram processadas em um moinho martelo para a geração das partículas *sliver*.

Depois de serem processadas, as partículas foram secas em estufa até a umidade de aproximadamente 3% (base massa seca das partículas), sendo, posteriormente, levadas para uma encoladeira do tipo tambor giratório, no qual foram aplicados, para todos os tratamentos, 8% de adesivo ureia-formaldeído e 1% de parafina.

Depois de encoladas, estas foram conduzidas para uma caixa formadora de colchão, no qual sofreram uma pré-prensagem a frio com o intuito de evitar a perda de partículas, sendo, em seguida, o colchão levado para uma prensa hidráulica, em que foi realizada a prensagem com temperatura de 160 °C, pressão de 40 kgf/cm² e tempo de 8 minutos. Para cada um dos três tratamentos (painéis de madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*), foram produzidos 6 painéis, com densidade nominal de 0,70 g/cm³ e dimensões de 48 × 48 × 1,5 cm.

Os painéis foram então climatizados à temperatura de 22 ± 2 °C e umidade relativa de 65 ± 5%.

Os corpos de prova foram retirados, conforme a norma ASTM D1037 (ASTM, 2006), para a realização dos testes de densidade aparente dos painéis, absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, compressão paralela e ligação interna. Enquanto que, para a determinação do módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR) à flexão, foram retirados corpos de prova conforme a norma DIN 52362 (DIN, 1982).

Foi realizada a análise de correlação linear simples de Pearson entre todas as propriedades

avaliadas nos painéis, considerando cada espécie de madeira e todas as espécies conjuntamente.

Com base nas correlações encontradas, foram ajustados modelos lineares simples ($y = \beta_0 + \beta_1x + \text{erro}$) pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO). Especificamente, para os painéis produzidos com *Eucalyptus saligna*, a relação entre a taxa de não retorno em espessura e o inchamento em espessura 24 horas foi explicada por meio de um modelo polinomial de segundo grau ($y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \text{erro}$).

Foi realizada a análise de variância para os modelos de regressão (teste F) e o teste *t* para avaliar a significância de cada coeficiente individualmente, considerando os níveis de 5 e 10% de significância.

Os modelos foram avaliados ainda com base no coeficiente de determinação (R^2) e no erro padrão da estimativa em porcentagem (*Syx*). Verificou-se a normalidade, homocedasticidade e ausência de autocorrelação dos resíduos dos modelos por meio dos testes Shapiro-Wilk, Goldfeld-Quandt e Durbin-Watson, respectivamente, em nível de 5% de significância.

Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do *software* R versão 2.11.0 pacote *stats* (R Development Core Team, 2008) e, na avaliação dos pressupostos da análise de regressão, utilizou-se o pacote *lmtest* (Hothorn et al., 2010).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão apresentadas as correlações lineares simples entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*.

Observa-se a correlação perfeita e positiva entre a densidade aparente e a razão de compactação dos painéis, uma vez que essa última propriedade é calculada considerando a densidade básica da madeira e a densidade aparente do painel.

Analisando-se a Tabela 1, nota-se a alta correlação positiva entre o MOE e MOR, assemelhando-se ao observado por Palma (1999). O autor encontrou correlação de 0,85 entre o MOE e o MOR para painéis compensados.

Encontrou-se ainda correlação entre a densidade aparente do painel e a taxa de não retorno em espessura e o módulo de elasticidade, bem como entre a razão de compactação e o MOE (Figura 1).

Os modelos de regressão ajustados entre o MOE e a densidade aparente e a razão de compactação foram significativos a 10% pelo teste F, mas apresentaram β_0 não significativo pelo teste *t* ($p > 0,10$).

Pelos resultados encontrados, pode-se afirmar que quanto maior a densidade aparente maior será a taxa de não retorno em espessura e o módulo de elasticidade. Assemelhando-se ao observado por Palma (1999) e Eleotério et al. (2000), que

Tabela 1. Correlações lineares simples entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*.

Table 1. Simple linear correlations between physical and mechanical properties of *Eucalyptus grandis* particleboards.

	DENS	RC	IE2h	IE24h	TNRE	AA2h	AA24h	MOE	MOR	LI	COMP
DENS	1	1									
RC	1	1									
IE2h	-0,34	-0,34	1								
IE24h	0,31	0,31	0,08	1							
TNRE	0,58	0,58	-0,22	0,66	1						
AA2h	-0,09	-0,09	-0,05	-0,08	0,04	1					
AA24h	-0,37	-0,37	0,62	-0,33	-0,31	0,52	1				
MOE	0,57	0,57	-0,39	0,14	0,16	-0,68	-0,86	1			
MOR	0,35	0,35	-0,16	0,08	0,05	-0,57	-0,75	0,87	1		
LI	0,31	0,31	-0,19	-0,02	0,39	-0,28	-0,21	0,28	0,05	1	
COMP	0,21	0,21	0,57	0,36	0,11	-0,30	0,05	0,16	0,40	-0,39	1

DENS: densidade aparente; RC: razão de compactação; IE2h: inchamento em espessura 2 horas; IE24h: inchamento em espessura 24 horas; TNRE: taxa de não retorno em espessura; AA2h: absorção de água 2 horas; AA24h: absorção de água 24 horas; MOE: módulo de elasticidade; MOR: módulo de ruptura; LI: ligação interna; COMP: resistência a compressão.

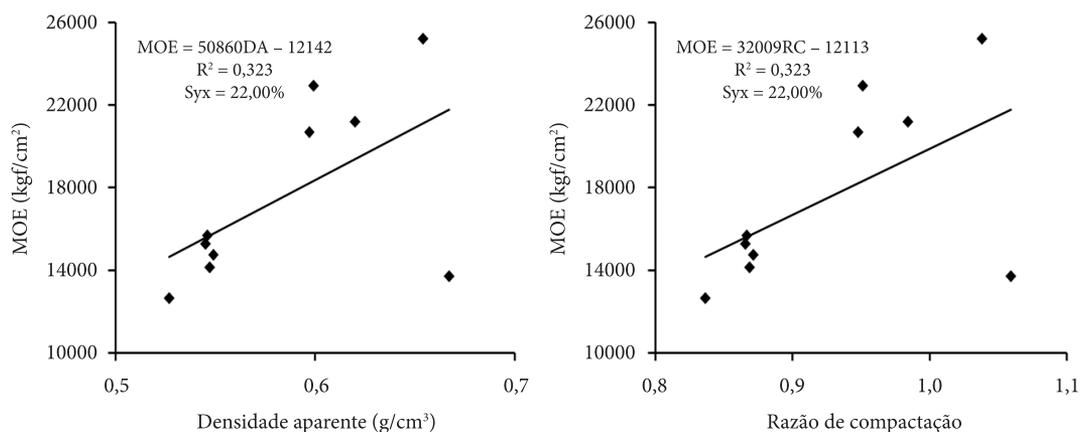


Figura 1. Relações lineares entre o módulo de elasticidade e a densidade aparente e a razão de compactação dos painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus grandis*.

Figure 1. Linear relations between elasticity modulus and apparent density and compression ratio of particleboards made from *Eucalyptus grandis*.

encontraram correlação positiva de 0,57 e 0,72 entre a densidade aparente e o módulo de elasticidade, respectivamente. Hillig et al. (2002) observaram que houve acréscimo do MOR e do MOE com o aumento da densidade dos painéis aglomerados, independente da espécie de madeira e mistura utilizada. Okino et al. (2008), para painéis OSB, e Melo e Del Menezzi (2010), para painéis aglomerados, encontraram a mesma tendência.

A relação encontrada entre a razão de compactação e o MOE pode ser explicada em decorrência da correlação entre a densidade aparente e essas propriedades, sugerindo que quanto maior a razão de compactação maior será o MOE para os painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis*.

Quanto às propriedades físicas dos painéis pode-se observar a correlação positiva entre o inchamento em espessura 2 horas com a absorção de água 24 horas. Esse resultado indica que se pode utilizar o inchamento em espessura 2 horas para a estimativa indireta da absorção de água após 24 horas de imersão dos painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* visando à otimização do tempo do ensaio.

Observou-se ainda que foram encontradas correlações negativas entre a absorção de água 2 e 24 horas com os módulos de ruptura e elasticidade (Figuras 2 e 3).

Quanto maior a absorção de água dos painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus grandis* menores serão os módulos de ruptura e elasticidade e menor será a qualidade mecânica dos painéis. Eleotério et al. (2000) também observaram correlação negativa entre o MOE e MOR e a absorção de água de painéis compensados, corroborando com o observado neste trabalho.

Os modelos de regressão que relacionam o MOE com a absorção de água (2 e 24 horas), apresentados na Figura 2, foram significativos pelo teste F ($p < 0,05$) e apresentaram todos os coeficientes significativos pelo teste t ($p < 0,05$).

Já o modelo que relaciona o MOR e a absorção de água 2 horas (Figura 3) apesar de significativo pelo teste F ($p < 0,10$), apresentou o intercepto não significativo pelo teste t ($p > 0,10$). O contrário foi observado para o modelo entre o MOR e a absorção de água 24 horas que foi significativo a 5% (teste F) e apresentou todos os coeficientes significativos pelo teste t ($p < 0,05$).

Na Tabela 2, estão apresentadas as correlações lineares simples entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados de *Eucalyptus cloeziana*.

À semelhança do observado para os painéis produzidos com *Eucalyptus grandis*, foram encontradas correlações positivas entre o MOE e o

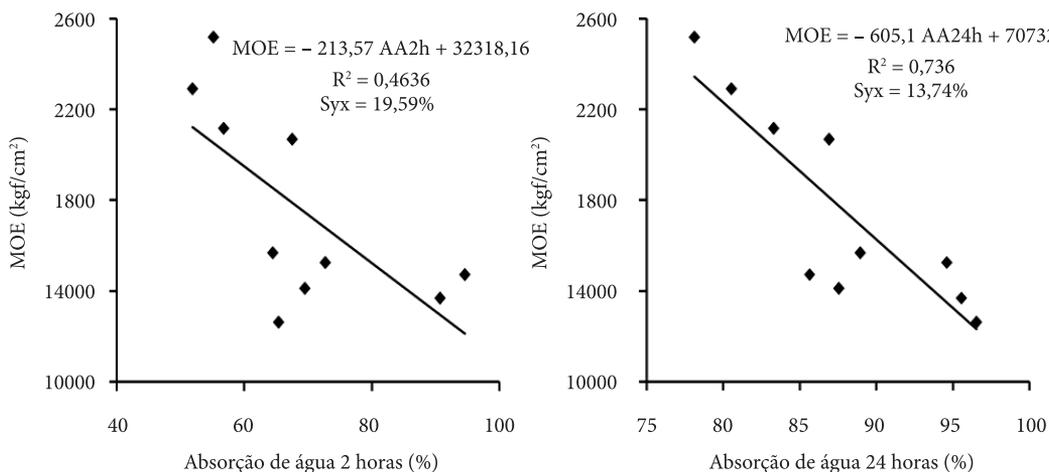


Figura 2. Relações lineares entre o módulo de elasticidade (MOE) e a absorção de água (2 e 24 horas) dos painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus grandis*.
Figure 2. Linear relations between elasticity modulus (MOE) and water absorption (2 and 24 hours) of the particleboards made from *Eucalyptus grandis*.

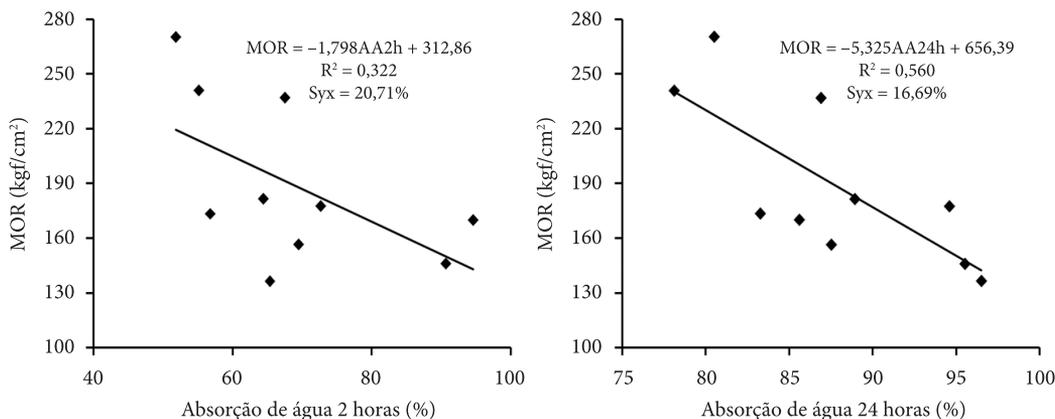


Figura 3. Relações lineares encontradas entre o módulo de ruptura (MOR) e a absorção de água (2 e 24 horas) dos painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus grandis*.
Figure 3. Linear relations found between rupture modulus (MOR) and water absorption (2 and 24 hours) of the particleboards made from *Eucalyptus grandis*.

MOR e entre a razão de compactação e a densidade aparente dos painéis.

Encontrou-se correlação positiva entre a densidade aparente e os inchamentos em espessura 2 e 24 horas para os painéis aglomerados produzidos com o *Eucalyptus cloeziana*. Esse resultado sugere que quanto maior a densidade do painel maior será a sua instabilidade dimensional em decorrência da maior quantidade de massa de partículas por volume.

Ao contrário do observado para os painéis de *Eucalyptus grandis*, não foram encontradas correlações positivas entre o módulo de elasticidade

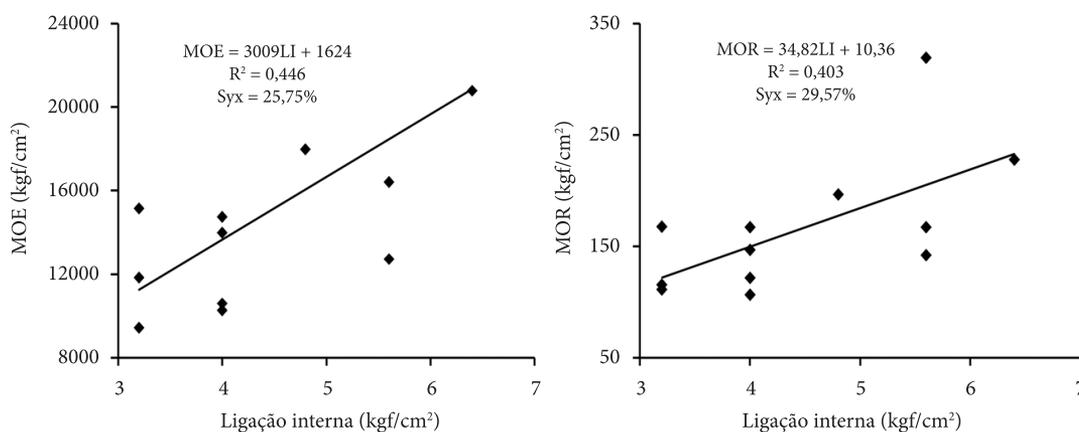
com a densidade aparente. Esse resultado é um indicativo do efeito do tipo de madeira nas propriedades dos painéis aglomerados. Para os painéis produzidos com *Eucalyptus cloeziana*, observou-se uma tendência de diminuição das propriedades de flexão estatística com o aumento da densidade aparente.

Correlações positivas entre a propriedade de ligação interna (ou tração perpendicular) e resistência à compressão com os módulos de elasticidade e ruptura podem ser observadas na Tabela 2 e nas Figuras 4 e 5.

Tabela 2. Correlações lineares simples entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados de *Eucalyptus cloeziana*.**Table 2.** Simple linear correlations between physical and mechanical properties of *Eucalyptus cloeziana* particleboards.

	DENS	RC	IE2h	IE24h	TNRE	AA2h	AA24h	MOE	MOR	LI	COMP
DENS	1										
RC	1	1									
IE2h	0,70	0,69	1								
IE24h	0,51	0,51	0,51	1							
TNRE	0,55	0,55	0,41	0,87	1						
AA2h	-0,43	-0,43	-0,25	-0,20	-0,14	1					
AA24h	-0,16	-0,16	-0,29	-0,70	-0,38	0,00	1				
MOE	-0,61	-0,61	-0,42	-0,41	-0,46	0,01	0,12	1			
MOR	-0,53	-0,53	-0,37	-0,44	-0,48	-0,06	0,18	0,98	1		
LI	-0,23	-0,23	0,13	-0,17	-0,27	-0,05	0,15	0,67	0,63	1	
COMP	0,20	0,20	0,41	0,06	0,13	-0,40	0,19	0,44	0,50	0,59	1

DENS: densidade aparente; RC: razão de compactação; IE2h: inchamento em espessura 2 horas; IE24h: inchamento em espessura 24 horas; TNRE: taxa de não retorno em espessura; AA2h: absorção de água 2 horas; AA24h: absorção de água 24 horas; MOE: módulo de elasticidade; MOR: módulo de ruptura; LI: ligação interna; COMP: resistência à compressão.

**Figura 4.** Relações lineares encontradas entre a ligação interna (LI) com os módulos de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) dos painéis produzidos com *Eucalyptus cloeziana*.**Figure 4.** Linear relations between internal bonding (IB) with elasticity (MOE) and rupture (MOR) modulus of the panels made from *Eucalyptus cloeziana*.

Os resultados encontrados sugerem que quanto maiores os valores do MOE e do MOR maiores serão os valores de ligação interna e resistência à compressão dos painéis aglomerados de *Eucalyptus cloeziana* e vice-versa. Contudo, o modelo de regressão entre o MOE e a resistência à compressão foi não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). Já os modelos que relacionaram o MOE e MOR com a ligação interna, bem como o MOR com a compressão foram significativos pelo teste F, mas apresentaram interceptos não significativos pelo teste t ($p > 0,05$).

As correlações lineares simples entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados de *Eucalyptus saligna* estão apresentadas na Tabela 3. Observa-se que, diferindo do observado para os painéis de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, não foram encontradas correlações entre as propriedades de flexão estática e a densidade aparente.

À semelhança do observado para os painéis produzidos com *Eucalyptus cloeziana*, encontrou-se correlação positiva entre a densidade aparente dos

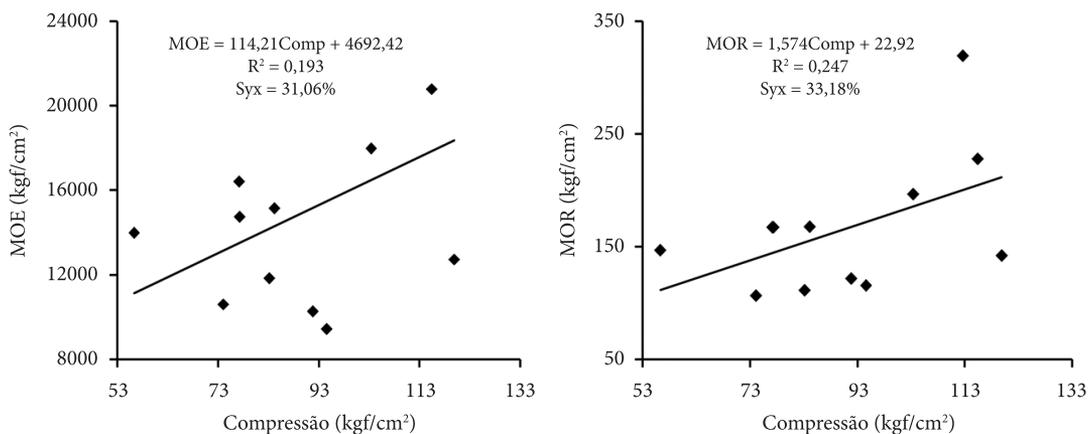


Figura 5. Relações lineares encontradas entre a resistência à compressão com os módulos de elasticidade (MOE) e ruptura (MOR) dos painéis produzidos com *Eucalyptus cloeziana*.

Figure 5. Linear relations found between resistance to compression with elasticity (MOE) and rupture modulus (MOR) of the panels made from *Eucalyptus cloeziana*.

Tabela 3. Correlações lineares simples entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados de *Eucalyptus saligna*.

Table 3. Simple linear correlations between physical and mechanical properties of *Eucalyptus saligna* particleboards.

	DENS	RC	IE2h	IE24h	TNRE	AA2h	AA24h	MOE	MOR	LI	COMP
DENS	1										
RC	1	1									
IE2h	0,74	0,74	1								
IE24h	0,24	0,24	0,28	1							
TNRE	0,49	0,50	0,60	0,56	1						
AA2h	0,03	0,03	-0,04	-0,03	-0,16	1					
AA24h	-0,31	-0,31	-0,50	-0,2	-0,47	0,57	1				
MOE	-0,12	-0,12	-0,15	0,14	0,53	-0,11	-0,13	1			
MOR	-0,16	-0,15	0,07	0,26	0,65	-0,08	-0,30	0,86	1		
LI	0,06	0,07	-0,05	0,12	0,05	0,06	-0,26	0,26	0,32	1	
COMP	-0,67	-0,66	-0,18	-0,41	-0,15	-0,03	-0,06	0,12	0,42	-0,04	1

DENS: densidade aparente; RC: razão de compactação; IE2h: inchamento em espessura 2 horas; IE24h: inchamento em espessura 24 horas; TNRE: taxa de não retorno em espessura; AA2h: absorção de água 2 horas; AA24h: absorção de água 24 horas; MOE: módulo de elasticidade; MOR: módulo de ruptura; LI: ligação interna; COMP: resistência à compressão.

painéis e a razão de compactação com o inchamento em espessura 2 horas. Os modelos de regressão ajustados entre essas variáveis foram significativos pelo teste F e apresentaram todos os coeficientes significativos pelo teste *t* ($p < 0,05$) (Figura 6).

Observa-se que foram encontradas correlações positivas entre a taxa de não retorno em espessura (TNRE) e os inchamentos em espessura 2 horas (IE2h) e em 24 horas (IE24h). Apenas o modelo de regressão ajustado entre a TNRE e o IE2h apresentou o intercepto não significativo pelo teste *t* ($p > 0,05$),

mas o modelo foi significativo a 5% pelo teste F (Figura 7).

Dacosta et al. (2005) encontraram correlação positiva entre a densidade aparente de painéis aglomerados com o inchamento em espessura 24 horas, assemelhando-se ao observado neste trabalho. De forma semelhante, Melo e Del Menezzi (2010) observaram acréscimo nos valores de inchamento em espessura 24 horas com o aumento da densidade aparente de painéis aglomerados.

As correlações lineares entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados

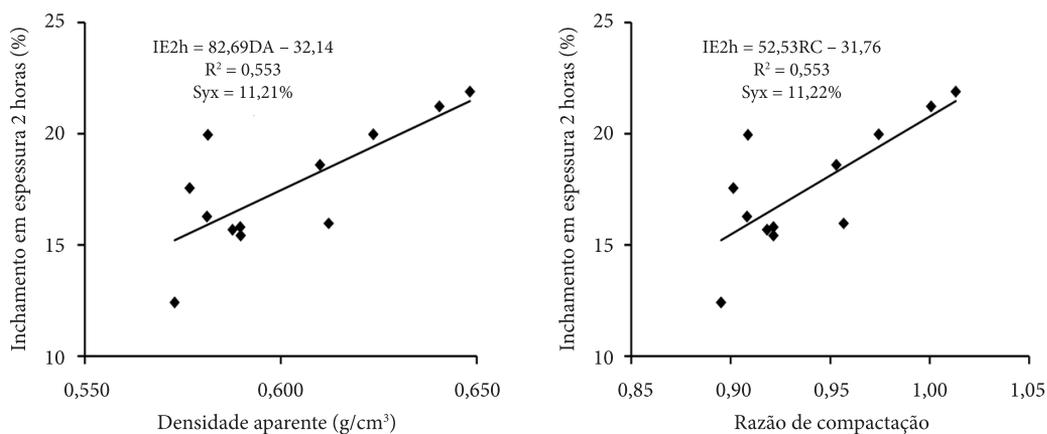


Figura 6. Relações lineares encontradas entre a densidade aparente e a razão de compactação com o inchamento em espessura 2 horas dos painéis aglomerados de *Eucalyptus saligna*.

Figure 6. Linear relations found between apparent density and compression ratio with thickness swelling after 2 hours of the *Eucalyptus saligna* particleboards.

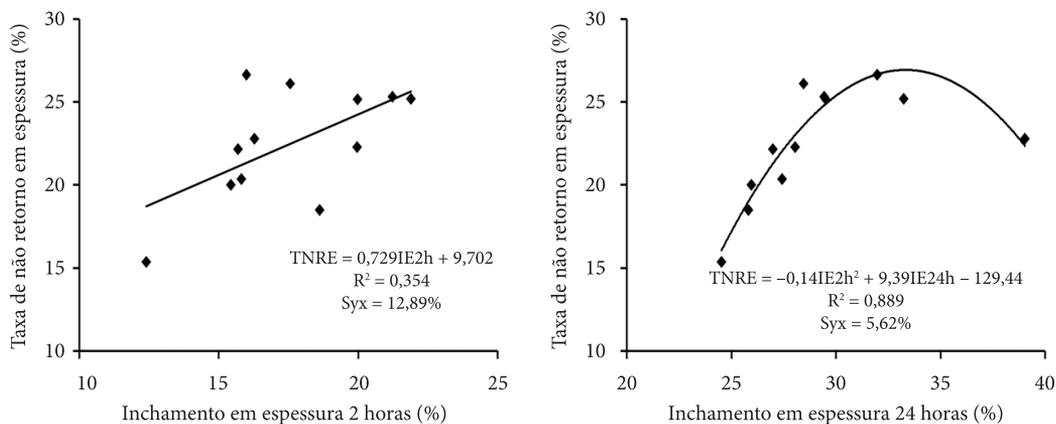


Figura 7. Relações lineares encontradas entre a taxa de não retorno em espessura e os inchamentos em espessura 2 e 24 horas os painéis aglomerados de *Eucalyptus saligna*.

Figure 7. Linear relations found between non-return rate in thickness and thickness swelling after 2 and 24 hours of *Eucalyptus saligna* particleboards.

produzidos com a madeira das três espécies de *Eucalyptus* avaliadas estão apresentadas na Tabela 4.

Observa-se que, independentemente da espécie de madeira, foi observada correlação positiva e direta entre o módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR), conforme pode ser visualizado na Figura 8. O modelo ajustado entre essas propriedades, apesar de significativo pelo teste F ($p < 0,05$), apresentou intercepto não significativo pelo teste t ($p > 0,05$).

Para todos os modelos de regressão ajustados, não foram observados desvios em relação aos

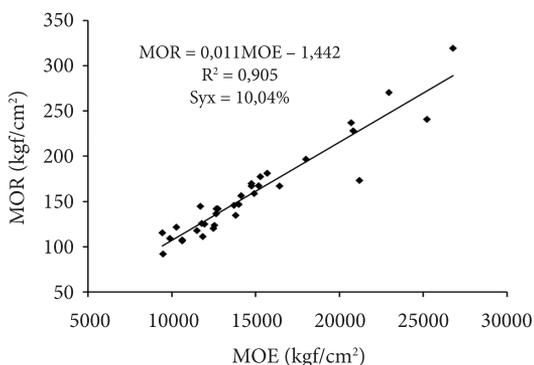
pressupostos da análise de regressão por meio dos testes estatísticos realizados, com exceção do modelo ajustado entre o MOE e MOR (Figura 8), que apresentou resíduos com autocorrelação e sem normalidade.

Belini e Tomazello Filho (2010) encontraram correlação de 0,81 entre o módulo de elasticidade e de ruptura para painéis MDF, corroborando com o observado neste trabalho para painéis aglomerados. De forma semelhante, Eleotério et al. (2000) e Palma (1999) observaram correlação positiva entre essas duas propriedades mecânicas.

Tabela 4. Correlações lineares entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com a madeira das três espécies de *Eucalyptus* avaliadas.**Table 4.** Linear correlations between physical and mechanical properties of particleboards made from wood from the three *Eucalyptus* species evaluated.

	DENS	RC	IE2h	IE24h	TNRE	AA2h	AA24h	MOE	MOR	LI	COMP
DENS	1										
RC	0,68	1									
IE2H	0,32	0,31	1								
IE24H	0,14	0,43	0,28	1							
TNRE	0,04	0,45	0,19	0,68	1						
AA2h	-0,29	-0,14	-0,13	0,06	0,35	1					
AA24h	-0,36	-0,08	-0,16	-0,04	0,35	0,52	1				
MOE	-0,09	-0,07	-0,3	0,01	0,25	0,08	0,19	1			
MOR	-0,15	-0,17	-0,21	-0,04	0,20	0,09	0,20	0,95	1		
LI	0,05	-0,04	0,01	-0,07	-0,10	-0,09	-0,14	0,33	0,31	1	
COMP	0,04	-0,11	0,20	-0,11	-0,15	-0,29	-0,09	0,16	0,29	0,16	1

DENS: densidade aparente; RC: razão de compactação; IE2h: inchamento em espessura 2 horas; IE24h: inchamento em espessura 24 horas; TNRE: taxa de não retorno em espessura; AA2h: absorção de água 2 horas; AA24h: absorção de água 24 horas; MOE: módulo de elasticidade; MOR: módulo de ruptura; LI: ligação interna; COMP: resistência à compressão.

**Figura 8.** Relação linear entre o módulo de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR) encontrada para os painéis avaliados, considerando as três espécies de *Eucalyptus*.**Figure 8.** Linear relation between elasticity (MOE) and rupture (MOR) modulus found for the panels evaluated considering the three *Eucalyptus* species.

Com base nas distintas correlações encontradas entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com as madeiras das espécies de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus saligna*, pode-se afirmar que a espécie influenciou nas relações estabelecidas entre as propriedades dos painéis, com exceção do observado para o módulo de elasticidade e de ruptura.

4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados sugerem que a espécie de madeira influenciou nas correlações ou relações

entre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados.

Observou-se correlação entre o módulo de elasticidade e o módulo de ruptura, independentemente das espécies de madeira utilizadas.

Para os painéis produzidos com *Eucalyptus grandis*, observou-se acréscimo do módulo de elasticidade com o aumento da razão de compactação e da densidade aparente. Além disso, observou-se diminuição das propriedades de flexão estatística com o aumento da absorção de água (2 e 24 horas).

Para os painéis aglomerados produzidos com *Eucalyptus cloeziana*, observaram-se correlações entre os módulos de elasticidade e ruptura com a propriedade de ligação interna e entre o módulo de ruptura e a resistência à compressão.

Observou-se tendência de aumento do inchamento em espessura depois de 2 horas, com o aumento da densidade aparente e da razão de compactação para os painéis aglomerados produzidos com a madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, FAPEMIG e Capes o apoio financeiro.

STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 29/08/2011

Aceito em: 17/02/2012

Resumo publicado online: 22/03/2012

Artigo completo publicado: 30/06/2012

APOIO FINANCEIRO

Capes, FAPEMIG, CNPq.

AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

Thiago de Paula Protásio

Departamento de Ciências Florestais – DCF,
Universidade Federal de Lavras – UFLA,
Campus Universitário,
CEP 37200-000, Lavras, MG, Brasil
e-mail: depaulaprotasio@gmail.com

José Benedito Guimarães Júnior

Departamento de Engenharia Florestal – DEF,
Universidade Federal do Piauí – UFPI,
Campus Professora Cinobelina Elvas,
CEP 64900-000, Bom Jesus, PI, Brasil
e-mail: jbguiumaraesjr@hotmail.com

REFERÊNCIAS

- American Society for Testing and Materials - ASTM. *ASTM D1037-06a*: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and panel materials. Philadelphia; 2006.
- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF. *Anuário estatístico da ABRAF 2011*: ano base 2010. [cited 2011 may. 10]. Available from: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>
- Belini U, Tomazello Filho M. Avaliação tecnológica de painéis MDF de madeira de *Eucalyptus grandis* confeccionados em laboratório e em linha de produção industrial. *Ciência Florestal* 2010; 20(3): 493 -500.
- Biazus A, hora AB, Leite BGP. *Panorama de mercado: painéis de madeira*. Abipa; 2010. [cited 2011 nov. 03]. Available from: http://www.abipa.org.br/Panorama_do_mercado_de_paineis_de_madeira.pdf
- Dacosta LPE, Haselein CR, Santini EJ, Schneider PR, Calegari L. Propriedades físicas de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com resíduos de processamento mecânico da madeira de *Pinus elliotii* Engelm. *Ciência Florestal* 2005; 15(4): 421- 429.
- Deutsches Institut für Normung - DIN. Normen Fur Holz Faserplatten Spanplatten Sperholz. *DIN 52362: Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength*. Berlin; 1982.
- Eleotério JR, Tomazello Filho M, Bortoletto Júnior G. Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes massas específicas e teores de resina. *Ciência Florestal* 2000; 10(2): 75-90.
- Freire CS, Silva DW, Scatolino MV, César AMS, Bufalino L, Mendes LM. Propriedades físicas de painéis aglomerados comerciais confeccionados com bagaço de cana e madeira. *Floresta e Ambiente* 2011; 18(2): 178-185. <http://dx.doi.org/10.4322/loram.2011.036>
- Hillig E, Haselein CR, Santini EJ. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e acácia-negra. *Ciência Florestal* 2002; 12(1): 59-70.
- Hothorn T, Zeileis A, Mollo G, Mitchell D. *lmtest: Testing linear regression models*. R package version 2.11.1. [cited 2010 nov. 24]. Available from: <http://cran.r-c3sl.ufpr.br/web/packages/lmtest/index.html>.
- Melo RR, Del Menezzi, CHS. Influência da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. *Silva Lusitana* 2010; 18(1): 59-73.
- Okino EYA, Teixeira DE, Souza MR, Santana MAE, Sousa ME. Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. *Scientia Forestalis* 2008; 36(78): 123-131.
- Palma HAL. Efeito da massa específica nas propriedades de flexão estática em compensados de *Pinus elliotii* Engelm. *Ciência Florestal* 1999; 9(1): 161-171.
- R Development Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2008. [cited 2012 jan. 8]. Available from: <http://www.R-project.org>.