

EFEITO DA ADIÇÃO DE LIGNINA AO ADESIVO DE UREIA-FORMALDEÍDO EM JUNTAS COLADAS DE *Eucalyptus* sp.

Juliana Ceccato FERREIRA¹, Larissa Carvalho SANTOS¹, Marcela Freitas ANDRADE¹,
Laíssa Ferreira CARVALHO, Aline Araújo LIMA¹, Carlos Miguel Simões da SILVA¹,
Angélica de Cássia Oliveira CARNEIRO¹, Benedito Rocha VITAL¹

1 – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

Resumo: Atualmente, o aumento contínuo da capacidade produtiva das indústrias de celulose tem gerado um excedente de lignina, passível de uso em outras aplicações além da geração de energia. A lignina é um composto fenólico natural que apresenta boas propriedades adesivas e de resistência, podendo ser aplicada juntamente com adesivos sintéticos. Deste modo, o objetivo do trabalho foi verificar a viabilidade de adição da lignina ao adesivo ureia-formaldeído (UF) comercial. As adições de lignina foram de 0% (T0), 10% (T10), 20% (T20) e 30% (T30) em relação ao adesivo UF. Os adesivos formulados tiveram suas propriedades caracterizadas. Foram confeccionadas juntas coladas a fim de determinar a resistência ao cisalhamento na linha de cola. Aumentos na porcentagem de lignina ocasionaram aumentos na viscosidade e teor de sólidos e redução do pH e *gel time* para todos os tratamentos, com exceção de T10, que apresentou menor viscosidade quando comparado com T0. A resistência ao cisalhamento não causou diferença significativa entre os tratamentos, indicando que a lignina não afeta a resistência na linha de cola, quando utilizada nas porcentagens testadas. A adição de lignina ao adesivo UF mostrou-se satisfatória, podendo substituir em parte o uso do adesivo sintético e reduzir o tempo de cura do mesmo, o que traz economia em relação ao tempo de prensagem e possível redução da adição de catalisador no preparo do adesivo para prensagem. Recomendam-se estudos para avaliar esta capacidade e a resistência dos adesivos à umidade.

Palavras-chave: lignina kraft, painéis de madeira colada, síntese de adesivos.

Abstract: Currently, the continuous increase of the production capacity of pulp industry has generated lignin surplus, capable of use in other applications beyond power generation. The lignin is a natural phenolic compound having good adhesive and strength properties and can be applied together with synthetic adhesives. Thus, the aim of this study was to check the feasibility of adding lignin to urea-formaldehyde adhesive (UF) commercial. Lignin additions were 0% (T0), 10% (T10), 20% (T20) and 30% (T30) in relation to the UF adhesive. The formulated adhesives had characterized their properties. Glued joints were prepared to determine the shear strength of the glue line. Increases in the percentage of lignin increased viscosity and solids content of the adhesive and reducing pH and gel time for all treatments, with the exception of T10 which provided a reduction of viscosity when compared to T0. The shear strength caused no significant difference between treatments, indicating that lignin does not affect the resistance in the glue line, when used in percentages tested. The addition of lignin to UF adhesive was satisfactory and could partly replace the use of the synthetic adhesive and reducing the healing time of it, which brings savings in relation to the pressing time and can reduce the addition of catalyst in the preparation of adhesive pressing.

Recommend up studies to evaluate this capacity and the resistance of the adhesive to moisture.

Keywords: kraft lignin, wooden panels glued, synthetic adhesives.

1. INTRODUÇÃO

O consumo do adesivo ureia-formaldeído (UF) no mundo está em torno de 11 milhões de toneladas por ano (MAMINSKI et al., 2007). Os adesivos UF são aplicados especialmente na colagem de painéis de fibras de média densidade (MDF), aglomerado de partículas e compensados industriais (BORAN et al., 2011).

Em comparação com outros adesivos sintéticos, a UF possui vantagens que incluem o baixo custo, facilidade de uso sob uma ampla variedade de condições de cura, requer baixas temperaturas de cura; possui certa solubilidade em água e após curada apresenta excelentes propriedades térmicas, além de ser incolor (BORAN et al., 2011). Por estas razões, a UF é um dos adesivos mais utilizados na indústria da madeira.

No entanto, produtos de madeira reconstituídos com este adesivo apresentam como desvantagens a emissão de formaldeído e a baixa resistência à umidade.

Em contrapartida, mais do que 50 milhões de toneladas de lignina vem sendo produzidos anualmente na indústria de celulose e papel (IBRAHIM et al., 2013). A maior parte da lignina produzida é utilizada como combustível e apenas cerca de 2% em massa é utilizado para aplicações de maior valor agregado tais como biomateriais, materiais compósitos e produtos químicos (LU et al., 2000). Este fator associado com as questões ambientais visando a redução do uso de adesivos sintéticos pode favorecer a aplicação da lignina como um componente da formulação dos adesivos.

A lignina é um polímero complexo e heterogêneo. A heterogeneidade da lignina depende da espécie vegetal da qual está sendo obtida, do processo de formação da polpa celulósica e do sistema de tratamento e lavagem da polpa que fazem a extração da lignina. Desse modo, diferentes ligninas podem ser obtidas e apresentam propriedades físico-químicas distintas que podem influenciar de diferentes maneiras sobre as propriedades do adesivo, quando incorporados a ele (KORDKHEILI et al., 2015).

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade técnica de adição de lignina ao adesivo ureia-formaldeído, considerando diferentes porcentagens de adição. A análise tomará como base as propriedades dos adesivos formulados e propriedades de resistência de juntas coladas. E, a partir dos dados obtidos, será possível inferir sobre novas possibilidades de uso e novas pesquisas a serem realizadas para os adesivos formulados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da lignina

A lignina é oriunda de uma indústria de celulose que realiza o processo de polpação kraft. A espécie usada na polpação é *Eucalyptus* sp. A lignina provém do processo de lavagem da polpa e extração do licor negro. Este licor passou por etapas de limpeza e secagem até obter a lignina em pó utilizada no estudo (a lignina foi pulverizada, passando por malha de 200 mesh).

A determinação dos carboidratos seguiu a metodologia apresentada por Wallis et al. (1996). A determinação do teor de lignina insolúvel, em meio ácido, foi realizada de acordo com o método Klason, segundo a norma Tappi T222 om-98 (1998). A concentração de lignina solúvel foi determinada empregando o filtrado da hidrólise ácida obtido no método Klason, o qual foi analisado através de espectroscopia na região do ultravioleta (GOLDSCHMID, 1971).

A análise elementar (CHNS-O) foi realizada com 2,5 mg ($\pm 0,5$) do material com granulometria menor que 200 mesh, no equipamento CHNS-O Flash EA 1112 Series (DIAS, 2014).

O teor de cinzas foi determinado segundo a norma T211 om-97 (1998). Em seguida, prosseguiu-se com digestão ácida das cinzas a fim de determinar a concentração de metais (Ca, Mg, Mn, Fe, Cu) em espectrofotômetro de absorção atômica. A determinação da concentração de metais foi realizada com base na norma Tappi 266 om-94 (1998).

Para o pH foram misturados 15 gramas de lignina em 150 mL de água fervente, deixando esfriar e posteriormente levados ao banho-maria a 23°C por 30 minutos. Em seguida, as amostras foram filtradas obtendo-se os extratos, dos quais se retirou uma alíquota de 50 mL para realizar a leitura no pHmetro, em temperatura de 25°C. O pHmetro foi calibrado para 4 e 6 utilizando-se soluções tampões padronizadas (BIANCHE, 2014).

2.2 Preparo dos adesivos Lignina-UF

Nos ensaios, diferentes porcentagens de lignina em pó foram adicionadas ao adesivo ureia-formaldeído comercial, com agitação constante durante um período de 10 minutos. E, logo em seguida, aplicado sobre as lâminas de madeira conforme descrito no item 2.4.

As adições de lignina em massa, considerando o seu teor absolutamente seco, foram de 0% (T0), 10% (T10), 20% (T20) e 30% (T30) em relação à gramatura de adesivo utilizada.

Para a determinação do *gel time* e colagem das lâminas, adicionou-se 1,5% de catalisador (sulfato de amônia, com diluição de 24%), em relação ao teor de sólidos (TS) de cada adesivo obtido.

2.3 Caracterização dos adesivos Lignina-UF

Após o preparo dos adesivos, os mesmos foram caracterizados por meio da determinação das seguintes propriedades: viscosidade, TS, *gel time* e pH.

A viscosidade dos adesivos foi determinada segundo a norma americana ASTM D 1084-97 – método B (1998). Utilizou-se um viscosímetro de Brookfield-LV (cp), com haste (spindler) número 3, velocidade de 12 rpm e fator de conversão de 100, em amostras de aproximadamente 250 mL.

O TS foi obtido de acordo com Carvalho et al. (2014).

O tempo de gelatinização, ou *gel time* foi obtido com amostras de 1 g dos adesivos, que foram colocados em tubos de ensaio de 15 cm de altura e 2 cm de diâmetro, em cujo interior foi mergulhado um bastão de vidro. O conjunto tubo-bastão foi mergulhado em um banho de glicerina à temperatura de 130°C, cronometrando-se o tempo gasto para a polimerização do adesivo, momento em que o bastão se desprende do adesivo (BIANCHE, 2014).

A determinação do pH foi feita em pHmetro digital, a temperatura de 25°C, calibrado a pH 4 e 7, utilizando-se soluções tampão padronizadas. Utilizou-se cerca de 200 mL dos adesivos em três repetições (BIANCHE, 2014).

Para todas as caracterizações realizou-se três repetições.

2.4 Produção de juntas coladas e determinação da resistência ao cisalhamento

Foram utilizadas tábuas de eucalipto nas dimensões de 0,32 x 2,54 x 8,26 cm (espessura x largura x comprimento), destinadas à preparação das juntas coladas de acordo com a norma ASTM D 2339-98 (ASTM, 2000).

As tábuas foram coladas aos pares utilizando o adesivo UF e as combinações de lignina-UF. A gramatura do adesivo utilizada foi de 200 g.m⁻² aplicado em face dupla.

O adesivo foi preparado previamente antes de sua aplicação e espalhado sobre as superfícies com auxílio de pincéis. As juntas coladas foram pré-prensadas a frio por 10 minutos e, em seguida realizou-se a prensagem a quente em prensa hidráulica à 130°C a pressão de 12 kgf.cm⁻², durante 8 minutos. Para cada um dos quatro tratamentos foram confeccionadas oito juntas coladas de madeira.

As juntas coladas foram acondicionadas em uma câmara de climatização a 20 ± 2°C de temperatura e 65 ± 3% de umidade relativa. Após a climatização das juntas coladas de madeira os corpos de prova foram confeccionados para posterior determinação da resistência ao cisalhamento de acordo com o procedimento descrito na norma ASTM D 2339-98 (ASTM, 2000).

2.5 Delineamento experimental

Para os dados relativos à caracterização da lignina, utilizou-se apenas estatística descritiva com valores médios e desvio padrão. Para as propriedades dos adesivos em cada tratamento e para os resultados de resistência das juntas coladas o experimento foi instalado segundo um delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições, para a caracterização do adesivo e oito repetições para o ensaio de resistência. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificação das diferenças existentes entre os adesivos avaliados. Quando estabelecidas diferenças significativas entre eles, aplicou-se o teste de médias de Tukey, ao nível de 95% de significância e análise de regressão para estimativa de modelo que melhor representasse o comportamento das variáveis dependentes em função da porcentagem de lignina adicionada ao adesivo. A escolha se baseou no maior coeficiente de determinação ajustado (R²_{aj.}) e teste F significativo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização da lignina

Nas tabelas a seguir estão os dados de caracterização química da lignina utilizada.

Tabela 1. Composição química de carboidratos presentes com a lignina

Amostra	Arabinanas (%)	Galactanas (%)	Glicanas (%)	Xilanas (%)	Mananas (%)
Lignina	0,03 (±0,00)	0,13 (±0,00)	0,00 (±0,00)	0,02 (±0,01)	0,00 (±0,00)

A partir da Tabela 1 observa-se maior porcentagem de galactanas em relação aos outros carboidratos. Durante a polpação kraft a lignina é fragmentada em grupos fenólicos solúveis, constituindo parte do licor de cozimento e os carboidratos são, em sua maioria degradados (FOELKEL, 2009). Segundo Almeida et al. (2000) as galactanas e mananas são as

hemiceluloses mais instáveis, sendo facilmente removidas das estrutura da madeira, o que possibilita maior ligação com a lignina no licor de cozimento. Isto foi observado para as galactanas. Para os demais carboidratos a pequena porcentagem ou inexistência indica a sua degradação e remoção durante a obtenção da lignina.

Tabela 2. Teor de lignina solúvel e insolúvel

Amostra	Lig. Solúvel (%)	Lig. Insolúvel (%)	Total
Lignina	12,70 ($\pm 0,35$)	85,37 ($\pm 0,76$)	98,06 ($\pm 0,41$)

O processo de extração forneceu lignina com alta pureza (98,06%). A maior porcentagem deste total é representado pela lignina insolúvel (85,37%), seguida da lignina solúvel (12,70%), assim como relatado por Zanuncio et al. (2013). A lignina solúvel não condensa durante a hidrólise ácida, o que dificulta a sua extração (GOMIDE, 2006).

Tabela 3. Análise elementar da lignina kraft

Amostra	Análise Elementar (%)					Cinzas (%)	Total (%)
	N	C	H	S	O		
Lignina	0,2 ($\pm 0,00$)	66,2 ($\pm 0,21$)	5,6 ($\pm 0,14$)	2,4 ($\pm 0,07$)	23,4 ($\pm 0,07$)	1,1 ($\pm 0,00$)	98,8 ($\pm 0,35$)

A composição elementar da lignina foi semelhante a composição do licor de cozimento, conforme indicado por Cardoso et al. (2006). No entanto, com maiores porcentagens de carbono (66,2%) devido à maior porcentagem de lignina presente, conforme disposto na Tabela 2.

Tabela 4. Teor de minerais

Amostra	Minerais (mg.kg^{-1})							Minerais (%)	
	Ca	Fe	Mn	Mg	Cu	K	Na	Sílica	Cinzas
Lignina	768,1 ($\pm 20,9$)	121,7 ($\pm 3,7$)	31,4 ($\pm 2,3$)	197,1 ($\pm 19,1$)	18,0 ($\pm 0,1$)	492,2 ($\pm 7,9$)	1989 ($\pm 12,9$)	0,1 ($\pm 0,0$)	1,1 ($\pm 0,0$)

Segundo Cardoso et al. (2006), a porcentagem total de minerais no licor de cozimento do processo kraft para eucalipto é inferior a dois por cento. Entre estes minerais, o sódio (Na) e cálcio (Ca) estiveram em maior proporção. Estes minerais são utilizados no processo de polpação e recuperação, respectivamente, o que resulta em uma concentração residual juntamente com a lignina, após sua extração (SOSA, 2007).

Para a precipitação da lignina a partir do licor negro e sua extração é necessário acidificar o meio, mantendo o pH próximo de 3. Em seguida são realizadas sucessivas lavagens da lignina para remover impurezas (LEBO et al., 2001). O pH da lignina usada no estudo foi de 3,36 ($\pm 0,04$), mantendo a acidez do processo de extração. O uso da lignina ácida eleva rapidamente a viscosidade do adesivo e ocasiona uma cura acelerada (DIAS, 2014). Logo, deve-se observar o momento de adição da mesma com o adesivo.

3.2 Caracterização dos adesivos Lignina-UF

A partir dos dados obtidos, foi realizada análise de variância (ANOVA), disposta na Tabela 5, para verificação do efeito da adição de lignina sobre as propriedades dos adesivos.

Tabela 5. Análise de variância para as propriedades dos adesivos obtidos com e sem adição de lignina

Fonte de variação	Quadrados médios			
	Viscosidade (cP)	pH	TS (%)	Gel time (min)
% lignina	49646891,0	4,3	31,1	21,8
F	1464,6	656,3	46,3	3757,5
Resíduo	33897,9	0,007	0,7	0,006

As diferentes porcentagens de lignina adicionadas apresentaram diferença significativa sobre as propriedades dos adesivos formulados. Na Tabela 6 está o resultado para o teste de médias para viscosidade, pH, TS e gel time.

Tabela 6. Valores médios de viscosidade, pH, TS e gel time para os adesivos Lignina-UF

Tratamento	Viscosidade (cP)	pH	TS (%)	Gel time (min)
T0	605 ($\pm 8,7$) c	8,14 ($\pm 0,12$) a	64,12 ($\pm 1,60$) d	1,77 ($\pm 0,05$) a
T10	385 ($\pm 5,0$) d	5,91 ($\pm 0,03$) b	66,42 ($\pm 0,22$) c	1,06 ($\pm 0,12$) c
T20	673 ($\pm 8,0$) b	5,68 ($\pm 0,06$) c	68,93 ($\pm 0,27$) b	1,32 ($\pm 0,05$) b
T30	1330 ($\pm 34,6$) a	5,7 ($\pm 0,09$) c	71,59 ($\pm 0,10$) a	1,23 ($\pm 0,06$) bc

Onde: letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A viscosidade é uma das propriedades mais importantes dos adesivos, sendo um fator limitante na definição de uso e aplicação do adesivo. Todos os adesivos diferiram estatisticamente quanto à viscosidade. O adesivo de UF comercial (T0) apresentou uma viscosidade de 605 cP. Com a adição de 10% de lignina a viscosidade reduziu em 64%, voltando a subir com maiores adições de lignina. Dias encontrou valores de 506 até 220 cP para adições de lignina de 30 a 60% ao adesivo fenol-formaldeído.

De acordo com Dias (2014), a lignina é pouco reativa com o formaldeído, ocasionando a evaporação do formaldeído não reagido, além de formar água na reação, que mantém um baixo TS. A adição de 10% de lignina foi insuficiente para interagir com o formaldeído e criar aumento da reticulação do adesivo. Maiores adições de lignina ampliaram as ligações com o formaldeído o que possibilitou aumento da viscosidade e redução do tempo de cura, como será discutido em seguida.

A adição de 20% de lignina ocasionou o aumento da viscosidade, que ficou próximo ao de T0. Já a adição de 30% de lignina resultou num aumento de aproximadamente 100% da viscosidade quando comparado com T0. A viscosidade observada para T30 limita o espalhamento do adesivo nas superfícies da madeira, além de afetar as ações de mobilidade do adesivo, gerando uma linha de cola pouco resistente. Kouisni et al. (2011) sintetizaram adesivos de lignina-fenol-formaldeído e concluíram que a porcentagem máxima de substituição do fenol pela lignina é de 30%, sem comprometer as propriedades mecânicas.

A adição de lignina ocasionou a redução do pH. Isso deve-se ao fato de a lignina apresentar baixo pH. Com maiores proporções de lignina adicionada maior foi a redução do pH, sendo que T20 e T30 não diferiram estatisticamente. Neste caso, observa-se uma possibilidade de reduzir a quantidade de catalisador aplicado à mistura, necessário para acelerar o processo de cura.

O adesivo UF cura em ambiente ácido, logo a lignina proporciona as condições necessárias para tal. O pH médio do adesivo UF comercial foi de 8,14. Segundo Iwakiri (2005), o pH do adesivo não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11 pois pode resultar em degradação das fibras da madeira. Além disso, pH muito baixo pode provocar uma formação excessiva de espuma na mistura, prejudicando sensivelmente a aplicação do adesivo.

Para o TS houve diferença significativa entre os tratamentos, com variações entre 64% e 72%. Porém, altos TS prejudicam a aplicação do adesivo via aspersão, devido ao aumento da sua viscosidade, assim como também dificultam espalhamento e penetração dos adesivos nas lâminas de madeira para produção de compensados (CARVALHO et al., 2014). Para Dias (2014), o TS máximo foi de 53%, para adição de 40% de lignina ao adesivo fenol-formaldeído. Acima dessa porcentagem o TS voltou a reduzir.

A adição da lignina ocasionou a redução do pH do adesivo formulado, passando de básico (T0) para ácido (T10, T20 E T30) e, conseqüentemente, diminuiu o tempo de polimerização do adesivo. Logo, a lignina atuou como um catalisador. O mesmo fato foi observado por Dias (2014).

Diferente do apresentado em outros trabalhos (PIZZI & MITTAL, 2004), a adição da lignina acelerou o tempo de cura, possibilitando um menor tempo de prensagem. O *gel time* para o T0 foi o maior de todos (1,77 min) e diferiu estatisticamente dos demais. Já o menor *gel time* foi observado para T10, que não diferiu do T30, assim como este não diferiu de T20.

Assim como para a viscosidade, T10 teve o menor *gel time*, mas que voltou a aumentar com maiores adições de lignina, mas mantendo valores abaixo do observado para T0.

Na Tabela 7 estão os dados para as análises de regressão obtidas estimar as propriedades dos adesivos para cada tratamento.

Tabela 7. Análise de regressão para estimativa das propriedades dos adesivos Lignina-UF com adição de diferentes porcentagens de lignina

Propriedades	b0	b1	b2	R ² _{aj.}	F
Viscosidade (cP)	598,1583	-41,1342	2,1921	99,53	1182,1
pH	8,0560	-0,2442	0,0056	95,17	109,4
TS (%)	64,1162	0,2225	-	93,34	78,2
<i>Gel time</i> (min)	1,7073	-0,0606	0,0016	57,25	8,4

As equações dispostas na Tabela 7 foram significativas e apresentaram elevados R²_{aj.}, superiores a 90%, com exceção do *gel time* (R²_{aj.}= 57,25%). Com exceção de T0, o *gel time* dos outros tratamentos ficaram muito próximos entre si.

O modelo quadrático foi o que melhor explicou a alteração das propriedades dos adesivos, uma vez que T10 fez com que o crescimento dos valores não fosse linear. Apenas o TS apresentou um crescimento linear. Adições de até 10% de lignina mostraram-se insuficientes para reagir com o formaldeído, ocasionando a formação de água e possível

emissão de formaldeído livre. Já, porcentagens acima de 10% possibilitaram maior interação da lignina com o formaldeído.

3.3 Resistência ao cisalhamento das juntas coladas

Tabela 7. Valores médios de cisalhamento e falha na madeira para juntas coladas de madeira de *Eucalyptus* sp. utilizando adesivo Lignina-UF

Tratamento	Resistência (kgf.cm ⁻²)	CV (%)	% falha na madeira	CV (%)
T0	38,38 a	15,60	44,42 a	70,43
T10	35,84 a	20,98	63,75 a	51,06
T20	33,19 a	24,53	55,59 a	50,37
T30	34,77 a	21,41	50,87 a	57,06

Onde: letras iguais na coluna não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. CV(%)= coeficiente de variação, dado em porcentagem.

Com maiores adições de lignina ao adesivo UF houve uma redução gradual da resistência ao cisalhamento, quando comparado com o adesivo comercial (T0). No entanto, não houve diferença estatística entre os dados. Desse modo, a adição de até 30% de lignina ao adesivo permite a manutenção da resistência da linha de cola. Segundo Mansouri et al. (2010), maiores adições de lignina ao adesivo limitam as propriedades físicas e mecânicas do mesmo.

Os resultados obtidos para os tratamentos apresentaram baixo CV% indicando boa representabilidade dos dados.

A temperatura de prensagem (130°C) possibilitou o processo de transição vítrea da lignina, que ocorre entre 82-190°C (Quirino & Vale, 2002; KLOCK et al., 2005) fornecendo-lhe um caráter plástico, podendo penetrar na estrutura submicroscópica da madeira e criar ligações fortes com esta após o resfriamento. Além disso, pode ter ocorrido reações entre o adesivo UF e a lignina, que possibilitaram as ligações.

A porcentagem de falha da madeira ficou entre 44% e 63%, não apresentando diferença estatística entre os tratamentos. Apesar da pequena variação média entre tratamentos, os resultados apresentaram elevado coeficiente de variação, indicando pouca precisão dos dados obtidos, diferentemente do observado para o ensaio de resistência ao cisalhamento.

Conforme disposto na Figura 1, quanto maior a resistência ao cisalhamento, menor foi a porcentagem de falha na madeira, rompendo na linha de cola.

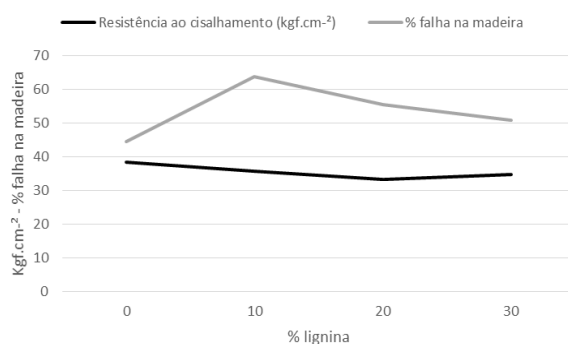


Figura 1. Relação da resistência ao cisalhamento e porcentagem de falha na madeira em função da adição de lignina

4. CONCLUSÕES

- Adição de 10% de lignina foi insuficiente para realizar ligações com o adesivo comercial. Maiores adições possibilitaram maior interação da lignina com o formaldeído presente no adesivo comercial, apresentando melhores propriedades adesivas. No entanto, adição de 30% impossibilita a aplicação do mesmo na madeira, limitando as ações de mobilidade e movimento do adesivo.
- Maiores adições de lignina ocasionaram redução significativa do pH e *gel time*, sendo que o tratamento T10 apresentou o menor *gel time*.
- Os ensaios de resistência ao cisalhamento não mostraram diferença significativa entre os tratamentos, apesar de ter uma tendência de redução com maiores adições de lignina.
- A adição de lignina ao adesivo UF mostrou-se satisfatória, podendo substituir em parte o uso do adesivo sintético, em especial com adição de 20% de lignina.
- A redução do *gel time* com a adição da lignina mostrou-se interessante do ponto de vista econômico, por possibilitar a redução da adição de catalisador em contrapartida com a adição de um produto renovável.
- Recomenda-se dar continuidade aos estudos a fim de verificar a influência da lignina em combinação com o catalisador sobre o tempo de cura dos adesivos. E, num segundo estudo avaliar as propriedades de resistência à umidade dos adesivos formulados.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J.M.de; GOMIDE, J.O.; SILVA, D. de J. Dissolução dos constituintes da madeira de eucalipto ao longo dos processos kraft contínuo convencional e aditivado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 215-222, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **Annual book of ASTM standards: adhesives: D2339-98**. Philadelphia, 2000. 600 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **D 1084-97**: Standard Test Methods for Viscosity of Adhesives. 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003a. 17p.

BIANCHE, J.J. **Interface madeira-adesivo e resistência de juntas coladas com diferentes adesivos e gramatura**. 2014. 85 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BORAN, S.; USTA, M.; GUMUSKAYA, E. Decreasing formaldehyde emission from medium density fiberboard panels produced by adding different amine compounds to urea formaldehyde resin. **Int J Adhes Adhes**, v. 31, p. 674-678, 2011.

CARDOSO, M.; OLIVEIRA, E.D.; PASSOS, M.L.A. Kraft black liquor of eucalyptus from brazilian mills: chemical and physical characteristic and its processing in the recovery unit. **O Papel**, São Paulo, v. 67, n. 5, p. 71-83, 2006.

CARVALHO, A.G.; ZANUNCIO, A.J.V.; MENDES, R.F.; MORI, F.A.; SILVA, M.G DA; MENDES, L.M. Adesivos tânicos de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville na produção de painéis aglomerados. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 195-202, 2014.

DIAS, L.M.S. **Síntese e caracterização de adesivos de lignin kraft de eucalipto**. 2014. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

FOELKEL, C. **Individualização das fibras da madeira de eucalipto para a produção de cellulose kraft**. 2009. Disponível em: <www.celso-foelkel.com.br> Acesso em 12 de julho de 2015.

GOMIDE, J.L. **Tecnologia e química da produção de celulose**. Viçosa: Laboratório de Celulose e Papel, Universidade de Viçosa, 2006. 235 p.

IBRAHIM, V.; MAMOA, G.; GUSTAFSSON, P.J.; HATTI-KAUL, R. Production and properties of adhesives formulated from laccase modified Kraft lignin. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 343-348, 2013.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. FUPEF. 247p. Curitiba. 2005.

KLOCK, U. MUÑIZ, G.I.B. de; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. de. **Química da Madeira**: manual da disciplina de química da madeira. 3. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 81 p.

KORDKHEILI, H.Y.; NAJAFI, S.K.; ESHKIKI, R.B.; PIZZI, A. Improving urea formaldehyde resin properties by glyoxalated soda bagasse lignin. **Eur. J. Wood Prod.**, n. 73, p 77-85, 2015.

KOUISNI, L.; FANG, Y.; PALEOLOGOU, M.; AHVAZI, B.; HAWARI, J.; ZHANG, Y; WANG, X.M. Kraft lignin recovery and its use in the preparation of lignin-based phenol formaldehyde resins for plywood. *Cellulose Chemistry and Technology*, Bucharest, v. 45, n. 7/8, p. 515-520, 2011).

LEBO, S.E.; GARGULAK, J.D.; MCNALLY, T.J. **Lignin**. In: Kirk-Othmer Encyclopedia of chemical technology. New York: Wiley-Interscience, 2001. v. 15, p. 1-32.

LU, Z.; WU, Q.; MC, N.S. Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: a review of coupling agents and treatments. **Wood Fiber Sci**, v. 32, n. 1, p. 88-104, 2000.

MAMINSKI, M.L.; PAWLICKI, J.; ZADO, A.; PARZUCHOWSKI, P. Hyperbranched polyether as a modifying agent for urea-formaldehyde resins – hardness and strength control tool. **Int J Polym Mater**, v. 56, n. 4, p. 1-8, 2007.

MANSOURI, H.R.; NAVARRETE, P.; PIZZI, A.; TAPIN-LINGUA, S.; BENJELLOUN-MLAYAH, B.; PASCH, H.; RIGOLET, S. Synthetic resin free wood panel adhesives from mixed low molecular mass lignin and tannin. **Journal Wood Product**, v. 69, p. 221-229, 2010.

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcell Dekker, 1994, 680 p.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T. Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*. In: Congresso Ibero-Americano de Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos Florestais, 2., 2002. Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 10 p.

SOSA, I.R.H. **Sistemas multiagentes para controle inteligente da caldeira de recuperação**. 2007. 177 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **Acid – insoluble lignin in wood and pulp**. T222 om-98. Atlanta, 1998/1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C**. T 211 om-97. Atlanta, 1998/1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **Determination of sodium, calcium, copper, iron, and manganese in pulp and paper by atomic absorption spectroscopy**. T 266 om-94. Atlanta, 1998/1999.

ZANUNCIO, A.J.V.; COLODETTE, J.L.; GOMES, F.J.B.; CARNEIRO, A. de C.O.; VITAL, B.R. Composição química da madeira de eucalipto com diferentes níveis de desbaste. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 4, p. 755-760, 2013.