



Extracción de taninos de la corteza de *Pinus* spp tratada térmicamente – aplicación como adhesivo

Tannin extraction from heat-treated *Pinus* spp bark - application as an adhesive

Fabricao Gomes Gonçalves^{1*}, Izabella Luzia Silva Chaves¹, Michelângelo Vargas Fassarella¹, Alice Soares Brito¹, Émilly Soares Gomes da Silva¹, Yonny Martinez López¹ y Rafael Espósito Gonçalves de Oliveira¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil.

* Autor de correspondencia. fabricao.goncalves@ufes.br

RESUMEN

Se identificó la influencia del tratamiento térmico en la obtención de compuestos tánicos condensables a partir de residuos de corteza de *Pinus* spp para la producción de adhesivo. Los tratamientos térmicos fueron: (a) corteza sin tratamiento térmico (testigo); (b) corteza expuesta a 60 °C durante 50 h en seco; (c) corteza expuesta a 120 °C durante 10 h en vapor; (d) corteza adherida al tronco expuesta a 120 °C durante 10 h en vapor. Para su caracterización química, la corteza fue molida y clasificada. Se extrajeron los compuestos tánicos mediante reflujo con agua destilada durante 2 h; se adicionaron sales de carbonato de sodio y sulfito de sodio, ambos a 5% en relación con la masa seca. Para el testigo fueron evaluadas las propiedades del tanino comercial de *Acacia mearnsii* (acacia negra). El proceso de extracción de taninos fue realizado en autoclave y se evaluaron las siguientes propiedades: viscosidad, pH, tiempo de formación de gel, contenido de sólidos y densidad. Tanto la corteza expuesta a 120 °C durante 10 horas en vapor como la adherida al tronco sometida a 120 °C a vapor durante 10 h, para ambas sales, exhibieron los mayores rendimientos de taninos. Los extractos tánicos obtenidos a partir de carbonato de sodio presentaron una estructura alcalina, alta viscosidad y menor tiempo de formación de gel. Sin embargo, los extractos obtenidos a partir de sulfito de sodio proporcionaron un carácter ácido y contenido de sólidos próximos a los encontrados en los extractos tánicos acuosos obtenido de la acacia negra.

PALABRAS CLAVE: polifenoles, propiedades tecnológicas, rendimiento tánico, residuo forestal, sustancias fenólicas, tratamiento térmico.

ABSTRACT

The objective of the study was to identify the influence of heat treatment in obtaining condensable tannins compounds from *Pinus* spp bark residues for adhesive production. The heat treatments were: (a) bark without heat treatment (control); (b) bark exposed at 60 °C for 50 h dry; (c) bark exposed at 120 °C for 10 h in steam; (d) bark attached to the trunk exposed at 120 °C for 10 h in steam. For the chemical characterization of the material, the crust was ground and classified, the tannic compounds were extracted under reflux with distilled water for 2 h, and in addition, sodium carbonate and sodium sulphite salts were added, both at 5% in relation to dry mass. The properties of commercial tannin from *Acacia mearnsii* (black acacia) were evaluated as the control. The tannin extraction process was carried out in an autoclave, and then used for the evaluation of properties such as viscosity, pH, gel formation time, solids content and density. It was determined that both the bark exposed at 120 °C for 10 h in steam and the bark adhered to the trunk (subjected to steam at 120 °C for 10 hours) for both salts, have higher tannin yields. Tannic extracts obtained from sodium carbonate have an alkaline structure, high viscosity, and shorter gel formation time. However, extracts obtained from sodium sulphite provide an acidic character and solids content close to those found in aqueous tannic extracts obtained from black acacia.

KEYWORDS: polyphenols, technological properties, tannic yield, forest residue, phenolic substances, heat treatment.

INTRODUCCIÓN

Las plantaciones del género *Pinus spp* en Brasil ocupan 1,6 millones de hectáreas, los estados de Santa Catarina y Paraná son los mayores productores del país, juntos, suman 76% de toda la producción nacional (Indústria Brasileira de Árvores [IBÁ], 2020). Las especies de *Pinus* como *Pinus ellioti*, *P. tadea*, *P. caribaea*, *P. oocarpa*, *P. patula*, *P. maximinoi*, *P. greggii*, *P. tecunumanii*, *P. kesiya*, son las más cultivadas en el territorio brasileño (Shimizu y Sebbenn, 2008). Las utilidades de estas especies se extienden en la producción de celulosa de fibras largas, tableros aglomerados (Carvalho *et al.*, 2014b), carbón vegetal y briquetas (Mendoza *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2017), madera aserrada (Murara Junior *et al.*, 2013), resina (Lopes, 2008) y corteza como sustrato para la producción de plantas u ornamentación de jardines (Neto *et al.*, 2005; Suguino *et al.*, 2011).

Los taninos producidos de forma natural a partir de metabolitos secundarios en vegetales pueden ser encontrados en corteza, hojas, duramen y raíces de los árboles, estos se pueden dividir en dos grandes grupos, los hidrolizables y los condensables (Volz y Clause, 2001; Zhou y Du, 2019). Estos compuestos son muy utilizados en la industria del cuero, en la producción de colorantes, polímeros, fungicidas y bebidas, en la detección de proteínas y alcaloides en laboratorio, en la industria farmacéutica, en el tratamiento de agua y como adhesivos para la producción de tableros aglomerados de madera (Gonçalves *et al.*, 2008; Gonçalves *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2007; Monteiro *et al.*, 2005; Mori *et al.*, 2003; Rahman *et al.*, 2014; Vieira *et al.*, 2014).

Las sustancias fenólicas en las plantas pueden alcanzar 40% de masa seca de la corteza en determinadas especies arbóreas, existen especies que poseen potencial para la extracción de compuestos tánicos a escala industrial (Trugilho *et al.* 2003; Carvalho *et al.*, 2014a). Cada especie vegetal se comporta de modo diferente en relación con el rendimiento y calidad de los taninos, los cuales están asociados a la forma de extracción, esta puede ser con agua (Trugilho *et al.*, 1997), sulfito de sodio (Carvalho *et al.*, 2014a; Tahir *et al.*, 2002; Vieira *et al.*, 2011), bisulfito de

sodio, sulfato y carbonato de sodio (Santiago *et al.*, 2019), metabisulfito e hidróxido de sodio (Vázquez *et al.*, 2001). Este proceso puede ser realizado aplicando diferentes temperaturas de acuerdo con lo indicado en diferentes investigaciones desarrolladas por Vieira *et al.* (2014), Rodrigues *et al.* (2015), Nath *et al.* (2017), Sartori *et al.* (2018) y Medeiros *et al.* (2018). Existen pocos estudios relacionados con la extracción de taninos a partir de la corteza de pino mediante termomodificación.

OBJETIVOS

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, el objetivo de este estudio estuvo basado en evaluar la extracción de taninos de la corteza de pino mediante tratamiento térmico, para determinar el contenido y calidad de taninos extraídos en diferentes condiciones de temperatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales y preparación de la materia prima

Una mezcla de corteza de *Pinus spp* fue proporcionada por una empresa localizada en la región central del Estado de Paraná, Brasil, la cual utiliza la corteza como sustrato (*in situ*) comercial para la producción de plántulas de orquídeas. Las cortezas fueron fragmentadas para su dimensión comercial en tamaños de 2 cm × 2 cm. El delineamiento experimental para la extracción de taninos está representado en la tabla 1, en ella se muestran los métodos aplicados para la termomodificación de la corteza y para la evaluación de los compuestos tánicos.

TABLA 1. Tratamientos térmicos aplicados a los residuos de corteza de *Pinus spp*.

Tratamiento	Condiciones térmicas de las cortezas
I	Corteza sin tratamiento térmico (testigo)
II	Corteza a 60 °C en proceso seco durante 50 h
III	Corteza a 120 °C a vapor durante 10 h
IV	Corteza adherida al tronco y sometida a 120 °C a vapor durante 10 h



Extracción de taninos

Las cortezas inicialmente fueron secadas al aire libre y posteriormente fragmentadas en molino de martillo para obtener partículas menores que permitieran la extracción de taninos. Estas partículas fueron trituradas en molino Willey con tamices de 0,8 mm y el material resultante fue homogeneizado y separado por tamices con dimensiones de abertura entre 0,42 mm y 0,25 mm (mallas granulométricas 40 y 60). Luego, las partículas fueron almacenadas en ambiente con condiciones controladas de 25 °C de temperatura y 65% de humedad relativa.

Para potencializar la extracción de taninos de la corteza de pino se utilizó agua destilada y sales de sulfito de sodio (Na_2SO_3) y carbonato de sodio (Na_2CO_3), ambas en una proporción de 5% en relación con la masa seca de la corteza. El proceso de extracción fue realizado en un equipo de reflujo con un matraz volumétrico y un condensador por dos horas, con una relación corteza/licor de 1:15 (p/v), 10 g de corteza y 5% de sal en 150 mL de agua destilada. Luego fue usado un filtro de vidrio sinterizado con placa porosa número 2 sobre un recipiente vacío y se determinaron los contenidos de taninos y otras sustancias extraíbles, a partir del número de Stiasny (NS) y la reactividad ultravioleta (Vieira *et al.*, 2011; Almeida, 2010). Del extracto filtrado, se tomó una muestra de 50 mL para determinar la cantidad de polifenoles reactivos del licor mediante el índice de Stiasny, a partir de la adición de 4 mL de formaldehído (37%) y 1 mL de ácido clorhídrico (HCl). Esta solución fue mantenida en una manta térmica sobre reflujo durante 30 min.

La absorción del extracto (reactividad) se realizó empleando un espectrofotómetro UV (Bel, UV-M51) de 280 nm, se usó 1 mL del material filtrado, diluido en 200 mL de agua destilada; esta solución se sometió a las lecturas de tamaño de ondas determinadas para el ensayo. La reactividad de los taninos fue calculada mediante la relación entre las diferencias de la absorción del extracto antes y después de la reacción de “Stiasny” (Ec. 1).

$$RUV = \frac{(A_a \times \text{diluido}) - (A_d \times \text{diluido})}{A_a} \times 100 \quad (1)$$

donde:

RUV: reactividad ultravioleta

A_a : absorción antes de la adición de formaldehído y ácido clorhídrico

A_d : absorción después de la adición de formaldehído y ácido clorhídrico

El contenido de extractivos totales fue determinado a partir de la diferencia de masa contenida en 25 mL del extracto, después de ser secado en estufa a $103 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ y obtener una masa constante. El porcentaje de taninos fue obtenido mediante el producto del número de Stiasny y por el contenido de extractivos totales. A partir de la diferencia entre el contenido de extractivos y de taninos se puede estimar el porcentaje de otras sustancias extraíbles.

Propiedades tecnológicas del tanino como adhesivo

El tratamiento con mayor rendimiento de tanino fue sometido a dos procesos subsecuentes de extracción en autoclave vertical (con capacidad de 75 L) durante dos horas. Posteriormente, el extracto fue filtrado con filtro de vidrio sintetizado con placa porosa número 2 y llevado para secado previo en estufa a temperatura de 60 °C , luego en secado completo en estufa a $103 \text{ °C} \pm 3 \text{ °C}$ durante ocho horas.

El proceso descrito anteriormente fue realizado para obtener el material seco y macerado en un recipiente de cerámica. El material triturado fue tamizado en una malla de $53 \mu\text{m}$ de abertura (malla granulométrica 270) para obtener el tanino puro en polvo. Luego, fue preparada una solución de 45% de extractos tánicos homogeneizadas con agua destilada para subsecuentes análisis de las propiedades tecnológicas (pH, densidad, viscosidad, tiempo de gel, contenido de sólidos) con el propósito de utilizarlo como adhesivos para la manufactura de tableros aglomerados de madera y otros materiales lignocelulósicos.

Para el análisis de pH de las soluciones, se usó un potenciómetro pH (Alfakit, AT 355), la medición fue después de 3 min de contacto con el adhesivo en ambiente

climatizado a 25 °C. La densidad fue obtenida utilizando un recipiente de volumen conocido, mediante la relación entre la masa del adhesivo y el volumen del recipiente conocido.

Por su parte, la viscosidad fue determinada mediante un viscosímetro rotativo digital de mesa (Marte, MVD-8), adecuado a 2-3-4 y con rotación de 60 min⁻¹ en 150 mL de la solución. El tiempo de gel fue determinado a partir de 10 g de la solución de extractos tánicos con la adición de 20% de formaldehído con base en el contenido de sólidos, en baño maría a 90 °C hasta el cambio de fase. Este proceso corresponde con la polimerización o *gel time* del adhesivo durante un tiempo determinado. También fue evaluado el contenido de sólidos, este se realizó mediante el secado de una muestra de 1,0 g del adhesivo en estufa en condiciones de temperatura de 102 °C ± 3 °C durante tres horas. El porcentaje de sólidos fue calculado a partir de la relación de la masa seca final por la masa húmeda inicial. En este proceso fueron realizadas tres repeticiones y evaluadas para cada propiedad indicada anteriormente.

Estadística aplicada

Las propiedades tecnológicas de los extractos tánicos fueron evaluadas mediante un delineamiento casualizado con tres repeticiones. La normalidad fue evaluada de acuerdo con la prueba de Kolmogorov – Smirnov y la homogeneidad de varianza de los datos por la de Kruskal-Wallis. Los valores medios fueron evaluados mediante la prueba de Dunnett ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química de la corteza de pino

Los valores medios obtenidos para cada uno de los ensayos desarrollados en la investigación están representados en la tabla 2. De manera general, la adición de sales proporcionó los mejores resultados en relación con el contenido de taninos extraídos de la corteza de pino, valores entre 14,06% y 20,55% para Na₂SO₃, y valores entre 17,60% y 20,56% para el Na₂CO₃, mientras que para la extracción con agua destilada se obtuvieron valores entre 4,04% y 4,97%.

TABLA 2. Valores medios del contenido de extractivos, taninos y no taninos, número de Stiasny y reactividad por el método ultravioleta.

Método de Extracción	Contenido de extractivos (%)	Número de Stiasny (NS)	Tanino (%)	No tanino (%)	Reactividad UV (%)	
Corteza sin tratamiento térmico (testigo)	Agua	4,27	22,47	0,96	3,31	91,63
	Na ₂ CO ₃ 5%	18,09	72,75	13,16	4,93	90,28
	Na ₂ SO ₃ 5%	15,51	69,47	10,77	4,74	94,04
Corteza a 60°C proceso seco por 50 h	Agua	4,04	17,98	0,73	3,31	79,66
	Na ₂ CO ₃ 5%	18,79	67,41	12,67	6,12	96,56
	Na ₂ SO ₃ 5%	14,06	63,62	8,94	5,11	95,49
Corteza a 120 °C a vapor por 10 h	Agua	4,97	12,74	0,63	4,33	58,33
	Na ₂ CO ₃ 5%	17,60	63,94	11,25	6,35	94,18
	Na ₂ SO ₃ 5%	14,69	57,82	8,50	6,20	91,64
Corteza adherida al tronco a 120 °C a vapor por 10 h	Agua	4,38	78,29	3,43	0,95	91,80
	Na ₂ CO ₃ 5%	20,56	83,67	17,21	3,36	97,37
	Na ₂ SO ₃ 5%	20,55	89,37	18,36	2,19	96,83



Se observó que los contenidos de taninos con la adición de carbonato de sodio fueron superiores a los valores obtenidos con la adición de sulfito de sodio. Resultados publicados por Santiago *et al.* (2019) en la extracción de taninos a partir de corteza de eucalipto demuestran que el Na_2CO_3 presenta una mayor eficiencia en el proceso de extracción en comparación con el sulfato de sodio.

Estudios realizados por Ferreira *et al.* (2009) y Vieira *et al.* (2014), en cuanto a los contenidos de extractivos en corteza de *Pinus oocarpa* mediante el uso de sulfito de sodio, obtuvieron valores medios entre 30,1% y 32,49%, estos valores fueron superiores a los encontrados en este estudio (20,55%), lo cual puede estar dado por el posible efecto de los procesos térmicos utilizados antes de la extracción.

Los tratamientos térmicos con menores contenidos de extractivos fueron los más eficientes en la obtención de los extractos tánicos. En comparación con el testigo, el tratamiento térmico a 60 °C con agua destilada presentó mayor eficiencia en el contenido de extractos tánicos, dado que estos últimos presentaron valores entre 4,04% y 4,27%.

Los resultados muestran que, a partir de la adición de sales, se puede favorecer la solubilidad de los polifenoles en comparación con las extracciones obtenidas a partir de agua. Con excepción del tratamiento IV, los valores mayores de número de Stiasny (NS) en los diferentes tratamientos térmicos fueron obtenidos con la adición de carbonato de sodio. Valores similares fueron encontrados por Vieira *et al.* (2014) en extractos de corteza de *Pinus oocarpa* con la adición de sulfito de sodio a 5%.

Los valores NS encontrados en los diferentes métodos de extracción, con excepción del tratamiento térmico a 120 °C, fueron inferiores a los encontrados por Vásquez *et al.* (2001), cuyos valores medios obtenidos a partir de diferentes concentraciones de hidróxido de sodio en corteza de *Pinus pinaster* variaron entre 81,2% y 96,5%.

De modo general, los tratamientos térmicos favorecen la obtención de valores menores de NS, con excepción del tratamiento térmico IV. Esto demuestra que la eficiencia de temperaturas de 120 °C en la obtención de taninos para la corteza adherida al tronco es baja. El tratamiento donde fue aplicada temperatura de 120 °C directamente sobre las

cortezas presentó menores valores de NS y fue el más eficiente en la remoción de extractos tánicos. Estas condiciones permiten que sea utilizado para la producción de plantas ornamentales ya que el tanino, por ser un metabolito secundario de carácter fenólico (Lima *et al.*, 2007), puede actuar como inhibidor del crecimiento radicular debido a los efectos alelopáticos (Fan *et al.*, 2003).

La adición de carbonato de sodio y sulfito de sodio solubilizó mayores cantidades de extractivos. Además, los mayores contenidos de extractivos de NS y taninos se encontraron en las extracciones con carbonato de sodio, con excepción del tratamiento IV. Sin embargo, se encontraron mayores cantidades de sustancias extraíbles (azúcares solubles), las cuales pueden influir negativamente en la aplicación de adhesivo (Marra, 1992).

Los resultados obtenidos, en relación con el tratamiento testigo, muestran diferencias respecto a los contenidos de taninos encontrados. Por ejemplo, se obtuvo 10,77% de taninos extraídos con 5% de sulfito de sodio; estos valores son inferiores a los encontrados por Vieira *et al.* (2014) y Ferreira *et al.* (2009) con medias de 22,5% y 31,6%, respectivamente, utilizando también 5% de sulfito de sodio en corteza de *Pinus oocarpa*. La diferencia entre los valores obtenidos en esta investigación y los publicados por los autores citados puede estar relacionada con la heterogeneidad de la mezcla del material estudiado (residuo).

Al analizar el contenido de sustancias extraíbles (no taninos) de la muestra testigo con la adición de 5% sulfito de sodio, el valor obtenido (4,74%) fue superior al encontrado en las mismas condiciones por Vieira *et al.* (2014) en corteza de *Pinus oocarpa* (2,9%). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Ferreira *et al.* (2009), quienes encontraron valores promedio de 4,77% en cuatro variedades de la especie *Pinus caribaea*.

Los resultados obtenidos en relación con la reactividad de los polifenoles por el método UV muestran valores inferiores de reactividad en aquellos tratamientos donde fue aplicada temperatura de 60 °C y 120 °C (solamente agua destilada en la extracción). En los demás métodos fue evidente una elevada reactividad de los polifenoles

obtenidos con la adición de carbonato de sodio y sulfito de sodio.

Los valores de la reactividad UV de los compuestos tánicos con la adición de 5% de sulfito de sodio, fueron semejantes a los obtenidos por Carvalho *et al.* (2014b), quienes encontraron para *Pinus caribaea* var. *bahamensis* valores de reactividad de 95,4%. Por su parte, Vieira *et al.* (2014) en corteza de *Pinus oocarpa* encontraron valores medios de 99,53%, los cuales son próximos a los obtenidos en este trabajo (entre 91,64% y 96,83%). Teniendo en cuenta estos resultados, se puede inferir que para los tratamientos donde se aplicó vapor a 120 °C directamente sobre las cortezas adheridas al tronco, se pueden obtener los mayores rendimientos en todos los parámetros.

Evaluación de las propiedades tecnológicas de los adhesivos

Los resultados muestran que el menor porcentaje de contenido de sólido fue encontrado con la extracción de taninos a partir de carbonato de sodio (19,16%), los cuales tienen diferencias estadísticas en relación con los demás adhesivos. Los valores de contenido de sólidos del adhesivo a base de tanino de la corteza de *Pinus* spp. extraído con sulfito de sodio (43,53%) no mostró diferencias estadísticas para los valores obtenidos en relación con el adhesivo comercial de *Acacia mearnsii* (39,98%) (Tabla 3). Esto indica una buena solubilidad de los materiales evaluados. De acuerdo con Almeida (2010), los porcentajes ideales de contenidos de sólidos en adhesivos a base de tanino deben variar entre 44% y 55%. Por su parte, Vieira *et al.* (2014)

obtuvieron valores inferiores del contenido de sólidos en adhesivos al substituir parte de las resinas sintéticas por extracto tánico de *Pinus oocarpa*, indicando interferencia del tanino en el contenido de sólidos de los adhesivos.

El adhesivo de la corteza de pino con 5% de sulfito de sodio y formulación de 45% de tanino presentó menor valor de densidad (7,56 g/cm³), mientras que el adhesivo comercial no se diferenció estadísticamente del adhesivo obtenido (9,09 g/cm³). En cuanto al tiempo de formación de gel, el tanino comercial se diferenció estadísticamente de los adhesivos obtenidos en este estudio, presentando valor medio de 6 min y 18 s. Ambos adhesivos obtenidos a partir de la corteza de *Pinus* sp. presentaron valores de formación de gel próximos a 1 min. Es importante tener en cuenta esos criterios en la fase de colado y en el proceso productivo de tableros y aglomerados, ya que pueden determinar el tiempo operacional de la etapa productiva a escala industrial.

En estudios realizados por Carvalho *et al.* (2014b) se evalúa el tiempo de formación de gel obtenido de la corteza de *Pinus caribaea* var. *bahamensis*, estos autores obtuvieron buenos resultados para un tiempo de 1 min y 10 s, valores próximos a los encontrados en este estudio. Además, el tiempo de gel para los adhesivos de la corteza de *Pinus caribaea* también presentó valores inferiores en comparación con el tiempo de gel de adhesivo comercial. Teniendo en cuenta la evaluación del incremento de tanino natural en adhesivos sintéticos, es posible inferir que los extractos tánicos, obtenidos de corteza de *Pinus* spp o de acacia negra pueden reducir el tiempo de gel de los adhesivos.

TABLA 3. Valores medios del contenido de sólidos, densidad y tiempo de formación de gel de los adhesivos.

Adhesivos / Dilución en agua destilada	Contenido de sólidos (%)	Densidad (g/cm ³)	Tiempo de gel (min)
<i>Acacia mearnsii</i> comercial a 45%	39,98 b*	9,09 b	6'18" b
Mezcla de corteza de pino / Na ₂ CO ₃ a 23%	19,16 a	8,74 b	0'46" a
Mezcla de corteza de pino / Na ₂ SO ₃ a 45%	43,53 b	7,56 a	1'05" a

* Promedios en cada columna con la misma letra, no difieren estadísticamente por la prueba de Dunnet ($p \geq 0,05$).



En la figura 1 se presentan los valores medios de pH y viscosidad de los adhesivos, con significancia por el análisis de variancia ($p < 0,05$). La adición de carbonato de sodio en el proceso de extracción del tanino en autoclave elevó el valor de pH del adhesivo, lo cual representa una diferencia estadística en los valores obtenidos en relación con el adhesivo comercial.

Se considera que el tanino es naturalmente ácido, esto permite inferir que la extracción con carbonato de sodio conduce a la producción de adhesivos con menores índices de pureza, esto puede retardar el proceso de curado del adhesivo durante la manufactura de tableros aglomerados debido a que la acidez interfiere en la reacción de condensación del tanino con el formaldehído (Vieira *et al.*, 2014), además de interferir en la viscosidad del adhesivo (Vásquez *et al.*, 2009; Carvalho *et al.*, 2014b).

Los valores de pH del adhesivo obtenidos con sulfito de sodio no presentaron diferencias estadísticas en relación con el tanino comercial, presentando carácter ácido (pH 5,24). Esta condición puede explicar la menor viscosidad del adhesivo en comparación con el adhesivo de carácter básico (pH 8,36) obtenido con el carbonato de sodio.

Los valores mayores de viscosidad fueron encontrados en los adhesivos obtenidos con el carbonato de sodio (4634,7 mPa·s). De acuerdo con Gonçalves y Lelis (2009) y con Brito (1995), la viscosidad con valores superiores a 1500 mPa·s tiende a disminuir la eficiencia del proceso de colado de tableros de madera, lo cual afecta la capacidad de distribución, humedad y adhesión del adhesivo, además de la funcionalidad tecnológica de los tableros. Por lo tanto, ambos adhesivos presentan valores de viscosidad no deseables. Es importante destacar que las unidades flavonoides que componen las moléculas de taninos son diferentes para aquellos provenientes de acacia negra y de corteza de *Pinus oocarpa* (Vieira *et al.*, 2014), como fue observado en los valores de viscosidad y pH.

Estudios realizados por Carvalho *et al.* (2014b) evalúan el incremento de extractos tánicos de *Pinus caribaea* var. bahamensis en adhesivos de *Acacia mearnsii* con tres niveles de porcentaje (90:10; 80:20; 75:25), se puede observar una tendencia en el aumento de la viscosidad a partir del incremento del tanino obtenido de *Pinus* sp. (180,1 mPa·s; 190,2 mPa·s y 196,8 mPa·s), a pesar de no presentar diferencias estadísticamente significativas.

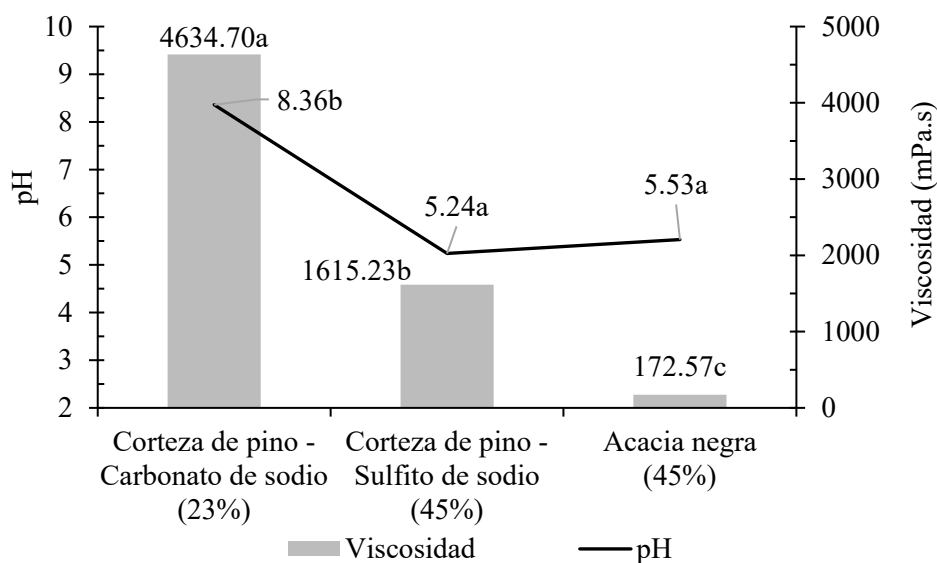


FIGURA 1. Valores medios de pH y viscosidad de los adhesivos.
 * Promedios con la misma letra para las propiedades distintas, no difieren estadísticamente por la prueba de Dunnett ($p \geq 0,05$).

A partir de estudos realizados por diferentes investigadores relacionados com o tema, se pode inferir que os valores de viscosidade elevada em extractos tánicos conduzem a uma menor fluidez em os adesivos naturais em comparação com os sintéticos. Isto se deve a los fenoles de las moléculas de tanino que presentan alto peso molecular y fuerte atracción electrostática (puentes de hidrógeno) entre los polifenoles y sus interacciones con los azúcares solubles contenidos en el extracto, lo cual forma agregados moleculares que no se rompen con la simple dilución en agua (Pizzi y Mittal, 1994).

CONCLUSIONES

La aplicación de vapor durante 10 h a 120 °C, directamente en los troncos con corteza, presentó una baja eficiencia en la remoción de extractos tánicos, siendo diferente la eficiencia para las cortezas fragmentadas y sometidas a 120 °C a vapor durante 10 h.

La adición de 5% de carbonato de sodio proporcionó mayores rendimientos en contenidos de extractivos, taninos y sustancias extraíbles (no taninos). Sin embargo, el extracto acuoso fue el que presentó carácter alcalino, mayor viscosidad y menor tiempo de formación de gel.

La adición de 5% de sulfito de sodio mostró eficiencia en la remoción de extractivos tánicos, además de proporcionar un adhesivo con menor viscosidad, carácter ácido y mayor contenido de sólido.

REFERENCIAS

- Almeida, R. R. (2010). *Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivos a base de tanino da casca de Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, Brasil.
- Carvalho, A. G., Mori, F. A., Mendes, R. F., Zanuncio, A. J. V., Silva, M. G., Mendes, L. M., & Mori, C. L. S. O. (2014a). Use of tannin adhesive from *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville in the production of OSB panels. *European Journal of Wood and Wood Products*, 72(4), 425-432. doi: 10.1007/s00107-014-0797-5
- Carvalho, A. G., Lelis, R.C.C., & Nascimento, A. M. (2014b). Avaliação de adesivos à base de taninos de *Pinus caribaea* var. *bahamensis* e de *Acacia mearnsii* na fabricação de painéis aglomerados. *Ciência Florestal*, 24(2), 479-489. Doi: 10.5902/1980509814588
- Fan, L., Soccol, A. T., Pandey, A., & Soccol, C. R. (2003). Cultivation of *Pleurotus mushrooms* on Brazilian coffee husk and effects of caffeine and tannic acid. *Micologia Aplicada Internacional*, 15(1), 15- 21.
- Ferreira, E. S., Lelis, R. C. C., Brito, E. O.; Nascimento, A. M., & Maia, J. L. S. (2009). Teores de taninos da casca de quatro espécies de pinus. *Floresta e Ambiente*, 16(2), 30-39. 2009.
- Gonçalves, F. G., & Lelis, R. C. C. (2009). Propriedades de duas resinas sintéticas após adição de tanino modificado. *Floresta e Ambiente*, 16(2), 01-07.
- Gonçalves, F. G., Lelis, R. C. C., & Oliveira, J. T. S. (2008). Influência da composição da resina tanino-ureia-formaldeído nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. *Revista Árvore*, 32(4), 715-722. doi: 10.1590/S0100-67622008000400013
- Gonçalves, F. G., Lelis, R. C. C., Oliveira, J. T. S., Garcia, R. A., & Brito, E. O. (2017). Chapas aglomeradas confeccionadas com ureia-formaldeído sob adição de tanino em pó. *Ciência Florestal*, 27(4), 1349-1363. doi: 10.5902/1980509830216
- Indústria Brasileira de Árvores [IBÁ]. (2020) *Relatório Anual*. 66p. Recuperado de <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>
- Kim, Y. H., Ogata, T., & Nakano, Y. (2007). Kinetic analysis of palladium (II) adsorption process on condensed-tannin gel based on redox reaction models. *Water Research*, 41(4), 3043-3050. doi: 10.1016/j.watres.2007.02.016
- Lima, J. D., Moraes, W. S., Mendonça, J. C., & Nomura, E. S. (2007). Resíduos da agroindústria de chá preto como substrato para produção de mudas de hortaliças. *Ciência Rural*, 37(6), 1609- 1613.
- Lopes, C. M. O. (2008). *Caracterização de resinas naturais e seus derivados por análise multivariada*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Portugal. Recuperado de: <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/3056/1/2009000509.pdf>
- Marra, A. A. (1992). *Technology of wood bonding: principles in practice*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Medeiros, J. X., Calegari, L., Silva, G., Oliveira, E., & Pimenta, A. (2018). Measurement of tannic substances in forest species. *Floresta e Ambiente*, 25(3), e20160589. doi: 10.1590/2179-8087.058916
- Mendoza, Z. M. S. H., Borges, P. H. M., & Furlan, A. (2012). Potencial energético da madeira de *Pinus tecunumanii* Eguiluz & Perry. *Multitemas*, 42, 41-54.
- Mori, F. A., Mori, C. L. S. O., Mendes, L. M., Silva, J. R. M., & Melo, V. M. (2003). Influência do sulfito e hidróxido de sódio na quantificação em taninos da casca de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*). *Floresta e Ambiente*, 10(1), 86-92.



- Murara Junior, M. I., Rocha, M. P., & Trugilho, P. F. (2013). Estimativa do rendimento em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. *Floresta e Ambiente*, 20(4), 556-563. doi: 10.4322/floram.2013.037
- Nath, S. K., Islam, M. Z., Rahman, K. S., & Rana, M. N. (2017). Tannin-based adhesive from *Ceriops decandra* (Griff.) bark. for the production of particleboard. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 15(1), 21-27. doi: 10.1007/s13196-017-0203-0
- Neto, B. M., Custódio, C. C., Carvalho, P. R., Yamamoto, N. L., & Cacciolaro, C. (2005). Casca de pinus: avaliação da capacidade de retenção de água e da fitotoxicidade. *Colloquium Agrariae*, 1(1), 19-24. doi: 10.5747/ca.2005.v01.n1.a003
- Oliveira, L. H., Barbosa, P. V. G., Lima, P. A. F., Yamaji, F. M., & Sette Júnior, C. R. (2017). Aproveitamento de resíduos madeiros de *Pinus* sp. com diferentes granulometrias para a produção de briquetes. *Revista de Ciências Agrárias*, 40(3), 683-691. doi: 10.19084/RCA17010
- Pizzi, A., & Mittal, K. L. (1994). *Handbook of adhesive technology*. New York: Marcell Dekker, 680p.
- Rahman, M. M., Akter, N., Karim, M. R., Ahmad, N., Mohammed, M. R., Siddiquey, I. A., Bahadur, N. M., & Hasnat, M. A. (2014). Optimization, kinetic and thermodynamic studies for removal of brilliant red (X-3B) using tannin gel. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 76-83. doi: 10.1016/j.jece.2013.11.023
- Rodrigues, N. D., Lelis, R. C. C., Nascimento, A. M., Vieira, M. C., & Cardoso, J. C. (2015). Otimização do processo de extração taninos de *Pinus oocarpa* para manufatura de adesivos para madeira. *Scientia Forestalis*, 43(108), 1013-1020. doi: 10.18671/scifor.v43n108.24
- Santiago, S. B., Gonçalves, F. G., Paes, J. B., Lelis, R. C. C., Vidaurre, G. B., & Arantes, M. D. C. (2019). Condensed tannins extracted from eucalyptus bark waste. *Floresta*, 49(1), 049-056. doi: 10.5380/rf.v49i1.56141
- Sartori, C. J., Mota, G. S., Miranda, I., Mori, F. A., & Pereira, H. (2018). Tannin extraction and characterization of polar extracts from the barks of two *Eucalyptus urophylla* hybrids. *BioResources*, 13(3), 4820-4831.
- Shimizu, J. Y., & Sebbenn, A. M. (2008). *Espécies de Pinus na Silvicultura Brasileira*. In: Pinus na silvicultura Brasileira. Shimizu, J. Y. (Ed.). Colombo: Embrapa Florestas.
- Suguino, E., Martins, N. A., Minami, K., Narita, N., & Perdoná, M. J. (2011). Efeito da porosidade do substrato casca de pinus no desenvolvimento de mudas de grumixameira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(n. spe1), 643-648. doi: 10.1590/S0100-29452011000500089
- Tahir, P. M., Musgrave, O. C., & Ashari, Z. (2002). Determination of polyphenolic content of bark extracts for wood adhesives. *Holzforschung*, 56(3), 267-272. doi: 10.1515/HF.2002.044
- Trugilho, P. F., Mori, F. A., Lima, J. T., & Cardoso, D. P. (2003). Determinação do teor de taninos na casca de *Eucalyptus* spp. *Cerne*, 9(2), 246-254.
- Trugilho, P. F., Caixeta, R. P., Lima, J. T., & Mendes, L. M. (1997). Avaliação do conteúdo em taninos condensados de algumas espécies típicas do cerrado mineiro. *Cerne*, 3(1), 1-13.
- Vázquez, G., González-Alvarez, J., Freire, S., López-Suevos, F., & Antorrena, G. (2001). Characteristics of *Pinus pinaster* bark extracts obtained under various extraction conditions. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 59(6), 451-456. doi: 10.1007/s00107-001-0246-0
- Vieira, M. C., Lelis, R. C. C., & Rodrigues, N. D. (2014). Propriedades químicas de extratos tânico da casca de *Pinus oocarpa* e avaliação de seu emprego como adesivo. *Cerne*, 20(1), 47-54. doi: 10.1590/S0104-77602014000100006
- Vieira, M. C., Lelis, R. C. C., Silva, B. C., & Oliveira, G. L. (2011). Tannin Extraction from the bark of *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* with sodium carbonate and bisulfite. *Floresta e Ambiente*, 18(1), 1-8. doi: 10.4322/floram.2011.017
- Volz, T. J., & Clause, T. P. J. (2001). Tannins in *Puccinellia arctica*: possible deterrents to herbivory by Canada geese. *Journal of Chemical Ecology*, 27(4), 725-732. doi: 10.1023/A:1010349918664
- Zhou, X., & Du, G. (2019). *Applications of tannin resin adhesives in the wood industry*. doi: 10.5772/intechopen.86424

Manuscrito recibido el 12 de septiembre de 2019

Aceptado el 22 de junio de 2020

Publicado el 9 de julio de 2021

Este documento se debe citar como:

Gonçalves, F. G., Chaves, I. L. S., Vargas Fassarella, M., Brito, A. S., da Silva, E. S. G., López, Y. M., & de Oliveira, R. E. G. (2021). Extracción de taninos de la corteza de *Pinus* spp tratada térmicamente – aplicación como adhesivo. *Madera y Bosques*, 27(1), e271241. doi: 10.21829/myb.2021.2712041



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.