



9CFE-1575

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1



Determinación de la composición química de tocones de *Eucalyptus nitens* mediante NIR

ALVES, A. (1), RODRIGUES, J. (1) FONTES, L. (2) Y LEAL, L.

(1) Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa.

(2) Altri Florestal SA, Quinta do Furadouro, 2510-582 Olho Marinho, Portugal.

Resumen

El *Eucalyptus nitens* es una especie interesante para la producción de pasta y papel, sobre todo en regiones donde no se puede utilizar el *Eucalyptus globulus* debido al frío (Volker et al., 1994). Sin embargo, una de las limitaciones del *E. nitens* es su débil rebrote de cepa (Fuller et al., 2002). Sin embargo, existe un rodal de Altri Florestal que se encuentra en su cuarta rotación y que tiene una capacidad de brotación similar a la de *E. globulus*. Por ello, se está intentando clonar genotipos de esta población para su posterior uso operativo.

Dado el buen resultado de capacidad de clonación de algunos de estos genotipos de *E. nitens*, se utilizó un enfoque de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) basado en muestras tomadas de tocones para inferir las propiedades de la madera para la producción de pulpa. Se seleccionaron 41 tocones para este trabajo. Los resultados mostraron que el genotipo con mayor capacidad de enraizamiento (>70%) presenta propiedades de la madera entre medias y buenas, dentro de lo esperado para la especie, en cuanto a características de producción de pulpa.

Palabras clave

Near Infrared Spectroscopy, Extractivos, Lignina, S/G, Rendimiento de la pulpa

1. Introducción

El *Eucalyptus nitens*, es una especie utilizada en Portugal para para la producción de pasta y papel debido a la buena calidad de su pulpa con propiedades similares a las del *E. globulus* en términos de blancura y rendimiento y a su rápido crecimiento y su capacidad para desarrollarse en climas fríos, donde el *Eucalyptus globulus* no prosperan. Esta característica lo hace particularmente valioso en regiones con inviernos duros, como algunas áreas de altitud elevada o latitudes extremas.

A principal limitación del *E. nitens* es que presenta un rebrote débil o casi inexistente después de ser cortado. El rebrote de tocón es una característica clave en el manejo forestal sostenible, ya que permite regenerar árboles sin necesidad de replantar.

Sin embargo, existe un rodal de Altri Florestal que se encuentra en su cuarta rotación y que tiene una capacidad de brotación similar a la de *E. globulus*. Por ello, se está intentando clonar genotipos de esta población para su posterior uso operativo. Todavía, se encontró que sólo un pequeño número de tocones tenían



buen enraizamiento (>70%), por lo que era necesario tener una idea de la calidad de estos tocones.

Se recogieron muestras de 41 tocones mediante perforación para estimar el contenido de humedad y la composición química mediante espectroscopia de infrarrojo medio. Los espectros se obtuvieron a medida que fueron recolectados y después del secado en estufa a 60 °C. Se estimó el contenido extractivo en etanol y total, el contenido y composición de lignina, así como el rendimiento de la pasta. Y se compararon los valores predichos en las muestras húmedas y secas. La ventaja de poder utilizar muestras húmedas es la rapidez de los resultados.

2. Objetivos

Se recogieron muestras de 41 tocones mediante perforación para estimar el contenido de humedad y la composición química mediante espectroscopia de infrarrojo medio. Los espectros se obtuvieron a medida que fueron recolectados y después del secado en estufa a 60 °C. Se estimó el contenido extractivo en etanol y total, el contenido y composición de lignina, así como el rendimiento de la pasta. Y se compararon los valores predichos en las muestras húmedas y secas. La ventaja de poder utilizar muestras húmedas es la rapidez de los resultados.

3. Metodología

Se seleccionaron 41 tocones, de los cuales 29 se utilizaron para recolectar material para pruebas de enraizamiento y 12 tocones más se eligieron al azar para aumentar la variabilidad. Las muestras se recogieron perforando en dirección longitudinal cerca de la corteza, utilizando un taladro equipado con una broca para madera de 8 mm. Se realizaron algunas réplicas para evaluar la influencia de la oscuridad (detectada en sitio) del material en los resultados, el tocón más importante por ser el que tuvo mayor tasa de enraizamiento fue perforado 4 veces, dos más oscuras y dos más claras, dando un total de 51 muestras. En la mayoría de los casos se intentó evitar recolectar material más oscuro. Las muestras colectadas mediante perforación y transportadas en bolsas plásticas con cierre ziplock (Fig 1), fueron transferidas a frascos de vidrio con tara conocida y tapa, aptos para la obtención de espectros NIR (FBruker).

Los espectros NIR de las muestras perforadas se adquirieron en viales de vidrio (FBruker) (Figura 1) en un espectrómetro Bruker modelo MPA. Los espectros se obtuvieron en la región de números de onda entre 12.000 y 4.000 cm^{-1} con una resolución de 16 cm^{-1} y con la adición de 100 espectros (escaneos) por muestra. Los espectros se obtuvieron de todas las muestras con el contenido de humedad tal como venían del campo y después del secado en estufa a 60°C.

Los modelos NIR-PLSR utilizados para la determinación del contenido de humedad y la composición química (contenido extractivo, contenido de lignina Klason y rendimiento de pasta) estuvieron constituidos esencialmente por muestras del género *Eucalyptus* (*globulus*, *nitens* y *dunnii*). Los espectros de las muestras utilizadas en estos modelos se obtuvieron con diferentes contenidos de humedad y secadas a 60°C. Tanto los modelos obtenidos con espectros húmedos como los obtenidos con muestras secadas a 60°C presentan buenas estadísticas con



coeficientes de determinación mayores que $R^2 = 93$, y con errores de validación cruzada promedio aceptables para cada parámetro (Tabla 1).

Los modelos NIR-PLSR utilizados para la determinación del contenido de humedad y la composición química (contenido extractivo, contenido de lignina Klason y rendimiento de pasta) estuvieron constituidos esencialmente por muestras del género *Eucalyptus* (*globulus*, *nitens* y *dunnii*). Los espectros de las muestras utilizadas en estos modelos se obtuvieron con diferentes contenidos de humedad y secadas a 60°C. Tanto los modelos obtenidos con espectros húmedos como los obtenidos con muestras secadas a 60°C presentan buenas estadísticas con coeficientes de determinación mayores que $R^2 = 93$, y con errores de validación cruzada promedio aceptables para cada parámetro (Tabla 1).

4. Resultados

Se observó una gran variación en el contenido de humedad de las muestras perforadas en los tocones (31 a 133%) con un valor promedio de 74%. Estos resultados fueron estimados por el modelo para el contenido de humedad existente en el laboratorio (Tabla 1, Figura 2). Para verificar si estos valores fueron bien estimados por el modelo, se compararon con los valores de humedad determinados en el laboratorio para 16 muestras (validación externa), estas fueron seleccionadas para cubrir el rango de variación de los valores estimados. Los extractivos de etanol son los más importantes ya que representan un gran porcentaje del total de extractivos.

El valor promedio de los extractivos en etanol fue muy similar tanto si se utilizaron los espectros húmedos (4,8%) como los espectros secos (5,0%). Sin embargo, se encontró que los espectros húmedos tienden a subestimar el contenido extractivo en etanol, especialmente en muestras con mayores contenidos extractivos. El rango de variación de los valores estimados en condición húmeda fue (2,6% a 13,8%) y en condición seca (3,4% a 15,1%). Los valores correspondientes en extractivos totales fueron 6,4%/6,2% para el valor medio respectivamente basado en los espectros húmedo y seco y los rangos de variación húmedo (3,9% a 14,3%) y seco (4,7% a 15,6%). Cabe destacar que solo una muestra presentó un contenido extractivo muy alto (>13%), las demás presentaron contenidos extractivos en etanol inferiores al 7% y niveles totales inferiores al 9%.

El valor promedio del contenido de lignina fue muy similar en los espectros húmedo (24,2%) y seco (24,9%). Sólo las muestras con mayores contenidos de lignina mostraron una diferencia entre los valores basados en los espectros húmedo (27,1%) y seco (30,1%). El rango de variación del contenido de lignina fue de aproximadamente el 8% (21,9% a 30,1%). El valor S/G previsto fue en promedio 1,9 con una variación entre 1,2 y 2,1, estos valores se basaron únicamente en espectros secos. El rendimiento de pasta fue en promedio de 42% con un rango de variación de 24% (25% a 49%) a lo que contribuyó el muy bajo valor de rendimiento de la muestra, ya que tenía un contenido extractivo muy alto y uno de los contenidos más altos de lignina.

5. Discusión

Los valores de composición química generalmente se miden a nivel de DBH y no en tocones cercanos al suelo. En general, estas muestras presentan una elevada



composición química tanto en extractivos como en lignina, siendo superiores a las encontradas en las muestras comerciales analizadas. Esto puede deberse al hecho de que el muestreo se realizó a un nivel del suelo muy cercano. La composición de lignina (S/G) también es ligeramente inferior a la de la albura de las muestras comerciales y más cercana a la de las muestras de duramen de estas. Dado que las muestras tienen altos niveles de extractivos y lignina, el rendimiento de pulpa es inferior al rendimiento de pulpa medido en la albura y similar al medido en el duramen de las muestras comerciales.

6. Conclusiones

La composición química (extractos y lignina) así como el rendimiento de la pasta se pueden determinar inmediatamente después de la toma de la muestra, incluso teniendo en cuenta grandes variaciones en el contenido de humedad de las muestras encontradas. Las muestras están bien escaladas y por tanto, como en este trabajo, lo importante era conocer la calidad de la madera de las muestras que enraizaron mejor en relación a las demás. Se encontró que las muestras que enraizaron mejor fueron cercanas o ligeramente mejores que las demás.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por Fondos Europeos, a través de la Agenda 'Transform - 1.1. da Agenda 'Transform - Transformação digital do setor florestal para uma economia resiliente e hipocarbónica' - Solicitud nº C644865735-00000007 - en el ámbito de las Agendas de Movilización para la Innovación Empresarial, del Plan de Recuperación y Resiliencia de Portugal. Esta investigación fue financiada por el Centro de Investigación Forestal, una unidad de investigación financiada por la Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P. (FCT), Portugal (UIDB/00239/2020). Los autores agradecen a Ana Cuartas, del CEF, su ayuda en las correcciones lingüísticas.

8. Bibliografía

- Fuller, G., Little, K. M., & Van Den Berg, G. (2002). Coppicing potential of *Eucalyptus nitens*: Results from a field survey. *Southern African Forestry Journal*, 193(1), 31–38. <https://doi.org/10.1080/20702620.2002.10433516>
- Volker, P., Owen, J. V., & Borralho, N. M. G. (1994). Genetic variances and covariances for frost tolerance in *Eucalyptus globulus* and *E. nitens*. *Silvae Genetica*, 43, 366–372. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:82080710>

Tabla 1. Resumen de las estadísticas de los modelos utilizados para determinar el contenido de humedad y la composición química de las muestras de perforación.

Espectros	Modelo	R	²	Rank	RMSECV
Húmedos	Humedad %	98	6		3.64
Extractos de etanol %	94	7		0.57	
Extractivos totales %	93	7		0.58	
Lignina Klason %	96	5		0.40	
Rendimiento de la pasta %	93	7		1.77	
secados 60°C	Extractos de etanol %	99	7		0.09
Extractivos totales %	99	7		0.10	
Lignina Klason %	97	7		0.34	
Rendimiento de la pasta%	99	7		0.66	

Figura 1. Adquisición de los espectros de las muestras perforadas en viales de vidrio (FBruker) mediante un NIR MPA.



Figura 2. Modelo (MPA) para determinar el contenido de humedad.

