

## Estimación de las tensiones de crecimiento en individuos selectos de *Eucalyptus camaldulensis* mediante extensómetro e índice de rajado

*Estimate of stress growth in individuals selected by Eucalyptus camaldulensis extensometer e cracked index*

González, D. P.<sup>1</sup>; J. G. Moglia<sup>1</sup>; A. J. López<sup>2</sup>; M. Pece<sup>1</sup>; J. A. López (h.)<sup>3</sup>  
y R. Moreno<sup>1</sup>

Recibido en febrero de 2014; aceptado en agosto de 2014

### RESUMEN

La implantación de *Eucalyptus camaldulensis* en el NOA puede ser una alternativa importante para solucionar el desabastecimiento de madera aserrada en la región; sin embargo hay escasa información sobre los defectos originados por las tensiones de crecimiento. En este contexto los objetivos del trabajo fueron evaluar las tensiones de crecimiento mediante el extensómetro y el índice de rajado (IR), como así también estudiar la correlación existente entre los diferentes métodos empleados. Los resultados obtenidos evidenciaron que las mediciones con el extensómetro no manifestaron diferencias significativas entre las orientaciones cardinales. El incremento máximo de rajaduras se produjo a las 48 h de apeado y fue suficiente la medición de una sola cara para su determinación. Se observó además una relación altamente significativa y positiva entre el IR a las 48 h y las mediciones con extensómetro, permitiendo explicar el 61% de la variabilidad de las rajaduras producidas.

**Palabras claves:** Tensiones de crecimiento; Extensómetro; Índice de rajado; *Eucalyptus camaldulensis*.

### ABSTRACT

*Eucalyptus camaldulensis* in the ANW (North-West Argentina) plantations area may become an important alternative to solve the regional sawn lumber shortage; nonetheless there is scarce information on the defects produced by growth stress. In this context the aims of the study were to evaluate the stresses of growth by the extensometer and the cracking index, as well as to study the correlation between the different methods used. According to the results the measurements by the extensometer showed non-significant differences between the cardinal orientations; the maximal increase of cracks occurs 48 hours after felling. Only one side needs to be measured for its determination. It was also observed a highly significant positive relationship between the cracking index at 48 h post-felling and the measurements using the extensometer. This explains the 61% of the cracks occurred.

**Key words:** Growth stresses; Extensometer; Cracking index; *Eucalyptus camaldulensis*.

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano 1912 (s). 4200 Santiago del Estero. Argentina. E-mail: dgonzalez@unse.edu.ar.

<sup>2</sup> Consultor Proyecto PMSRN BIRF 7520 AR. Bella Vista Corrientes.

<sup>3</sup> INTA EEA Bella Vista. Corrientes. Argentina.

## 1. INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de madera para las industrias del aserrío en la región del NOA proviene en su gran mayoría de especies forestales de alto valor comercial presentes en el bosque nativo. La extracción desmedida y sin criterio técnico de dichas especies ha llevado a la degradación del recurso en gran parte de la Región Chaqueña. Si bien actualmente existen medidas a nivel nacional para proteger y conservar los bosques naturales (Ley 26331, 2007), la demanda de materia prima continúa en aumento y la oferta de madera es aún más limitada.

Una alternativa posible puede ser la implantación de especies de rápido crecimiento que además de adaptarse a las condiciones edafo-climáticas sean de alta productividad y tengan madera de buena calidad. Entre las especies de rápido crecimiento se destacan las del género *Eucalyptus*, por diversificar la oferta de productos al mercado.

Según Maree and Malan (2000), la mayor limitación técnica que presenta este género son las grietas, rajaduras y alabeos que se producen en los rollizos y en las tablas luego de que el árbol es abatido y aserrado. Este defecto afecta principalmente el rendimiento de madera aserrada durante el proceso de transformación mecánica y es causado por la liberación de las tensiones de crecimiento. Su origen, ya estudiado por Jacob's (1945), citado por Latorraca y Albuquerque (2000), se debe a la lignificación de las células originadas por el cambium. Este proceso provoca la expansión lateral de las células en sentido transversal y la contracción en sentido longitudinal, donde las células envejecidas de años anteriores impiden este fenómeno, produciendo las tensiones.

Una forma de evaluar estas tensiones de crecimiento es a través del extensómetro, un instrumento creado por el CIRAD-Forêt (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo, Departamento Forestal). Este instrumento mide las deformaciones residuales longitudinales (DRL) registradas en un reloj comparador que se encuentra apoyado a dos púas fijadas a 45 mm una de la otra, en la superficie del tronco sin corteza. Para liberar las tensiones y originar el movimiento de las púas entre las dos se efectúa un orificio con una mecha de 20 mm de diámetro. Este método es apenas un indicador a campo, ya que Nicholson (1971) asevera que sólo ofrece una estimación de las deformaciones residuales longitudinales periféricas, siendo un 15% inferior a los valores obtenidos en el interior del tronco (Lima *et al.*, 2004).

Otro método indirecto usado para la determinación de las tensiones de crecimiento es el índice de rajado (IR) obtenido por la medición de las grietas producidas en las caras de los rollos. Esta forma de determinación indirecta es una de las más confiables, aunque requiere mayor tiempo de estimación y del abatimiento del árbol (López y Genes 2005).

Los objetivos de este trabajo fueron estudiar las tensiones de crecimiento en individuos de *Eucalyptus camaldulensis* mediante extensómetro e índice de rajado y determinar la eficiencia del extensómetro como método de evaluación.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El material empleado correspondió a 28 árboles selectos pertenecientes a un ensayo de progenies de *Eucalyptus camaldulensis*, constituido por 13 orígenes australianos, una procedencia africana y 2 testigos de semillas comerciales, totalizando 104 familias de polinización abierta (Tabla 1).

Tabla 1. Detalle del material genético.

Procedencia	Localidad	Latitud	Longitud	Nº de Familias	Individuos selectos
A	Emu Creek, Petford, QLD	17° 20'	144° 58'	11	2
B	Huerto Semillero de Zimbabwe, África	-	-	12	7
C	Dimbulah, Petford, QLD	17° 15'	145° 00'	09	4
D	Gibb River, Kimberley, WA	16° 08'	126° 38'	10	6
E	8 km west of Irvinebank, QLD	17° 24'	145° 09'	10	3
F	South of Katherine, NT	14° 30'	132° 15'	09	
G	Ord River, WA	17° 29'	127° 57'	06	1
H	Gilbert River, QLD	18° 30'	142° 52'	04	
I	Dunham River, WA	16° 20'	128° 40'	03	
J	Gilbert River, QLD	17° 10'	141° 45'	04	
K	Wyalba Creek, QLD	16° 43'	142° 00'	08	2
L	Kimberleys, WA	15° 40'	126° 23'	07	
LL	Lennard River, WA	17° 23'	124° 45'	09	1
M	Fitzroy River, WA	18° 11'	125° 36'	02	2
SA	Testigo comercial de Sudáfrica				
T	Testigo comercial de Mendoza				

Fuente: López, C. 2004

Este ensayo fue establecido en el campo de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) en la localidad de Zanjón, departamento Capital, provincia de Santiago del Estero, situado a 27° 46' Latitud Sur; 64° 18' Longitud Oeste y a 188 msnm. Fue implantado en 1996 conforme a un diseño experimental de Bloques de Familias compactas con cuatro repeticiones, sub-parcelas lineales de cinco plantas y bordura perimetral simple. El distanciamiento de plantación fue de 3 m entre filas y 2 m entre plantas (López, 2004).

En este estudio, los individuos de 17 años de edad se seleccionaron a través de un *ranking* elaborado a partir del mérito genético obtenido en base al DAP y la densidad de la madera estimada indirectamente con pilodyn mediante índices de selección.

En cada individuo se midieron las deformaciones residuales longitudinales con extensómetro (Figura 1) siguiendo el protocolo con ventana de medición reducida propuesto por López y Genes (2005). Las determinaciones se realizaron en el sentido de los puntos cardinales (N-S-E-O) al DAP, para cada individuo, luego de la remoción de una pequeña ventana de 22,5 cm<sup>2</sup> de corteza.

Una vez efectuadas las mediciones se procedió al apeo de los árboles y se obtuvieron 2 trozas de 2 metros de longitud a partir de 1,30 m de altura (DAP) a las cuales se realizó el registro fotográfico de cada una de sus caras (inicial y final de cada troza) a igual distancia de la cámara.

El índice de rajado se determinó mediante las mediciones de longitud y ancho de las grietas en las 4 caras sobre las fotografías. La medición de estas longitudes se efectuó con un software SIG de uso libre denominado Kosmo - Sistema Abierto de Información Geográfica versión 2.0.1 (Figura 2B).

Las mediciones se realizaron secuencialmente en 4 tiempos: cuando el árbol fue recién apeado y a las 48, 96 y 144 horas posteriores. Se cubrieron los extremos de los rollizos con bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad y retardar el proceso de secado, retracción y colapso, según la metodología propuesta por López y Genes (2005) y Trevisan *et al.* (2013) (Figura 2A).

Para la determinación del índice de rajado se utilizó la fórmula [1] que consiste en una relación entre la sumatoria de las áreas ocupadas por las rajaduras y el área total de la sección transversal que contiene a esas rajaduras (Lima 2000).

$$IR = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i * L_i)}{\frac{\pi * D^2}{4}} * 100 \quad [1]$$

Donde:

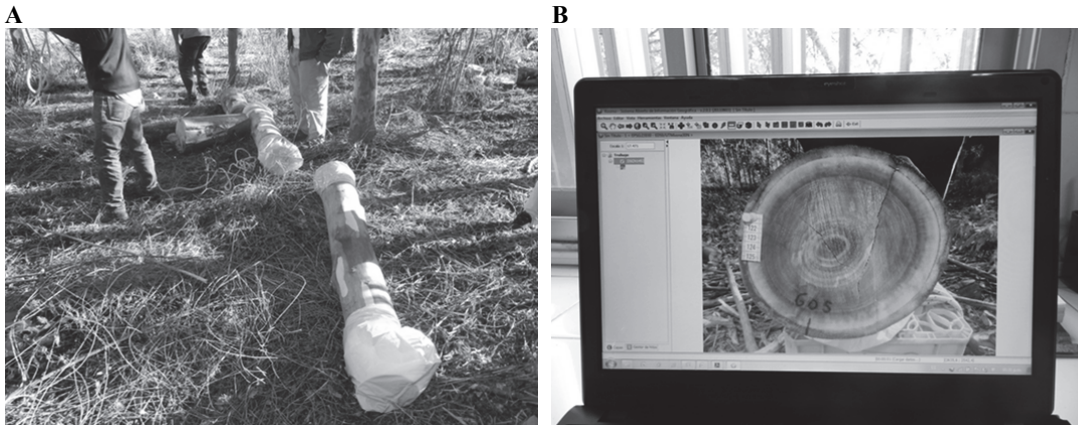
$A_i$ : Ancho máximo (cm) de la rajadura  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ )

$L_i$ : Largo (cm) de la rajadura  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ )

$D$ : Diámetro medio de la sección transversal (cm) que contiene las rajaduras



**Figura 1.** Medición de tensiones de crecimiento con extensómetro CIRAD-Forêt



**Figura 2. A.** Cobertura de los extremos de las trozas con bolsas plásticas. **B.** Medición de rajaduras mediante software Kosmo.

Se determinaron los estadísticos descriptivos para las DRL y el análisis de los datos se realizó mediante modelos lineales generales, considerando como factor fijo los individuos y las orientaciones, en un diseño completamente aleatorizado. Se utilizó el test de LSD Fisher ( $\alpha = 0,05$ ) para probar diferencias entre medias.

Para el análisis del IR se utilizaron modelos lineales generales mixtos, considerando la ubicación de las caras (inicial o final), troza, horas de medición y la interacción entre ellos como factor fijo, modelando la correlación existente entre las observaciones efectuadas en los mismos individuos con diferentes funciones. Para la selección de los mejores modelos se utilizó el

criterio de AIC (criterio de información de Akaike) que establece como mejor modelo aquel que produce menor valor de AIC.

Se utilizó el coeficiente de Pearson en el cálculo de la correlación y regresión lineal simple para modelar la relación entre las dos variables. Los datos se analizaron con el *software* INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2008).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Medidas de resumen de las DRL

Los estadísticos obtenidos para la variable DRL, valor promedio, amplitud de variación, desvío estándar y coeficiente de variación individual se consignan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos de las DRL en milímetros correspondientes a los individuos de *Eucalyptus camaldulensis* evaluados

Parámetro	Promedio	Máximo	Mínimo	SD	CV %
DRL (mm)	0,099	0,152	0,042	0,026	26,09

El valor promedio de DRL fue menor a los registrados en *Eucalyptus saligna* Smith (Beltrame *et al.*, 2013), y a los obtenidos en árboles de *Eucalyptus dunnii* con edades de 8, 13, 15 y 19 años con valores de 0,107; 0,113; 0,111 y 0,123 mm respectivamente (Trugilho *et al.*, 2004).

En la Tabla 2 también se puede verificar que existe variación entre los materiales estudiados ya que el CV fue elevado en relación a la variable estudiada. La DRL media presentó un valor de 26,09%. Este resultado fue similar al valor medio de 23,66% reportado por Trugilho *et al.* (2004) al estudiar el efecto de la edad sobre las deformaciones residuales longitudinales de *Eucalyptus dunnii* a los 8 años de edad.

#### 3.2. Variación de las DLR entre las orientaciones cardinales

Mediante el análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas entre individuos; sin embargo no se encontraron diferencias estadísticas significativas de las deformaciones residuales longitudinales entre orientaciones (Tabla 3). Resultados similares fueron encontrados al estudiar diferentes materiales genéticos de *Eucalyptus grandis* (Lima *et al.*, 2004), mientras que Beltrame *et al.* (2013) obtuvieron diferencias estadísticas significativas en clones de *Eucalyptus* spp. siendo la posición Oeste la de menor valor.

**Tabla 3.** Análisis de la Variancia de las DRL de los individuos de *Eucalyptus camaldulensis* considerando las orientaciones cardinales

F.V.	gl	CM	F	p-valor
Individuos	27	0,0026	4,36	<0,0001
Orientación	3	0,00068	1,12	0,3459
Error	81	0,00061		
Total	111			

### 3.3. Ordenamiento individual de menor valor de DRL según posición cardinal

En la Tabla 4 se muestra, para los individuos seleccionados, aquéllos que presentan menor valor de DRL en sus respectivas orientaciones.

**Tabla 4.** *Ranking* de los árboles seleccionados con menores DRL (mm) según su orientación cardinal.  
Nota: Cada letra corresponde a diferentes individuos

Posición ( <i>Ranking</i> )	Individuos de menor valor de DRL por orientación				Prom.	Prom.
	N	S	E	O	N-S	O-E
1	A	B	B	B	B	B
2	B	M	C	A	C	C
3	C	Q	F	F	A	F
4	D	C	D	Q	G	A
5	E	G	R	C	Q	R
6	F	R	M	V	M	M
7	G	L	A	U	L	Q
8	H	A	W	S	H	O
9	I	S	O	R	E	J
10	J	H	LL	J	N	D
11	Q	N	I	P	R	S
12	L	Y	H	M	Ñ	I
13	LL	Ñ	J	O	D	Y
14	M	T	Y	E	J	E
15	N	E	Q	N	F	U

Al comparar el *ranking* de los 15 individuos con menores DRL (mm) para cada una de las orientaciones, es posible observar que solo el 33% de los árboles están presentes en las 4 posiciones (A, B, C, M y Q). Si se toma el promedio de las posiciones E-O o N-S el porcentaje de individuos incluidos en el *ranking* se incrementa entre 60 a 67% respectivamente.

### 3.4. Variación del índice de rajado entre trozas, ubicación y horas de medición

Los análisis realizados permitieron verificar que no existen diferencias estadísticas del IR entre ubicaciones ni entre trozas (Tabla 5).

**Tabla 5.** Resultados del análisis de la variancia del índice de rajado de los individuos de *Eucalyptus camaldulensis* en función de la ubicación de las caras de las trozas, del número de trozas y de las horas de medición

F.V.	gl	F-valor	p-valor
Ubicación	1	1,43	0,2319
Troza	1	0,26	0,6127
Horas	3	23,39	<0,0001
Ubicación: Horas	3	0,53	0,6632

Estos resultados concuerdan con el trabajo desarrollado por Lima *et al.* (2007), pero contrastan con los hallados por Trevisan *et al.* (2013) donde al evaluar la variación axial del IR

en la base y en la punta de las trozas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden encontraron que existen diferencias en la primera troza de las cuatro estudiadas.

Al evaluar las diferentes horas de medición del índice de rajado se observó que existen diferencias significativas entre horas, no así en la interacción de ubicación por horas.

Con la prueba de LSD de Fisher se comprobó que existe diferencias entre el IR promedio entre 0 y 48 horas (Tabla 6). El máximo valor se produjo a las 48 h de apeado los árboles, aunque sin diferenciarse significativamente de los IR evaluados a las 96 y 144 horas. Cabe señalar que si bien se advierte una disminución en el valor del IR luego de haberse producido el máximo, dicho comportamiento probablemente se deba atribuir a la sensibilidad de realizar la medición al momento de determinar el área de rajado.

**Tabla 6.** Comparación de medias del IR producido en las diferentes horas evaluadas

Horas	Medias	E.E.	
144	0,87	0,09	A
96	0,80	0,09	A
48	0,89	0,09	A
0	0,45	0,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

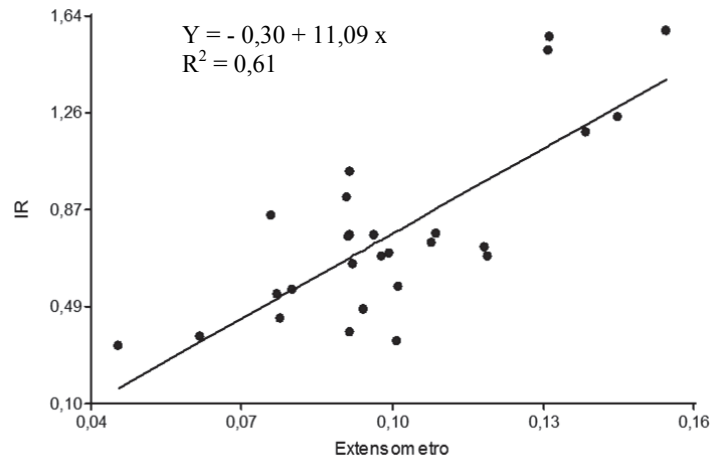
### 3.5. Correlación entre las DRL medidas con extensómetro y el índice de rajado

En la Tabla 7 se muestra el valor de la correlación entre las mediciones realizadas con extensómetro y el IR promedio individual a las 48 horas. El valor de la correlación entre las dos variables fue de 0,78 ( $p < 0,0000014$ ) lo que indica la factibilidad de prever la tendencia de las rajaduras en la troza con este instrumento. Estos resultados son similares a los encontrados por López y Genes (2005) en una de las trozas, donde dicho valor varió de 0,67 a 0,73 al evaluar genotipos de *Eucalyptus grandis* y a los de Souza *et al.* (2003) al estudiar la correlación entre el extensómetro y el índice de rajado en tablas de diferentes clones de *Eucalyptus* de seis años de edad.

**Tabla 7.** Valor de la correlación simple de Pearson y su probabilidad entre el extensómetro y el índice de rajado

Extensómetro	
IR	0,78 ( $p < 0,0000014$ )

La regresión lineal (Figura 3) resultó ser altamente significativa, lo que demuestra que este instrumento puede explicar el 61% de la variabilidad total de las rajaduras.



**Figura 3.** Estimación del índice de rajado a las 48 h en función del extensómetro en los individuos estudiados

#### 4. CONCLUSIONES

- El extensómetro resulta ser una herramienta confiable para agrupar clases o conjuntos de individuos de mayor o menor propensión a rajarse.
- Sería factible la determinación de las DRL en una sola orientación cardinal lo cual evitaría mayor daño a los individuos y disminuiría los tiempos de medición. Sin embargo, sería posible un mayor porcentaje de arboles dentro del *ranking* si se utilizara el promedio de las lecturas, ya sea en la posición norte-sur o este-oeste.
- Los resultados obtenidos sugieren que para evaluar el índice de rajado individual serían suficiente mediciones tomadas en una sola troza y en una única cara a las 48 h de apeado.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen especialmente a los Auxiliares del Grupo del INTA EEA Bella Vista: José Ruiz Díaz, Juan Sánchez y Cristian Almirón por su valiosa colaboración en las actividades realizadas a campo.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltrame, R.; B. Mattos; C. Haselein; E. Santini; D. Gatto; P. Cademartori y C. Pedrazzi. 2013. "Avaliação das deformações residuais longitudinais da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith". *Scientia Forestalis*. Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 95-101.
- Di Rienzo, J.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. Gonzalez; M. Tablada y C. Robledo. 2008. "InfoStat, versión 2008". Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Latorraca, J. y C. Albuquerque. 2000. "Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira". *Floresta e Ambiente*, v. 7, n. 1, p. 279-291.
- Ley 26331. 2007. "Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos". Boletín Oficial de la República Argentina.



- Lima, I. 2000. "Variação de propriedades indicativas da tensão de crescimento em função da posição na árvore e da intensidade de desbaste". Tese (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba. Brasil.
- Lima, J.; P. Trugilho; S. Silva Rosado y C. Cruz. 2004. "Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades". Revista Árbore. Viçosa-MG, v. 28, n. 1, p. 107-116.
- Lima, I.; J. Garcia y J. Stape. 2007. "Influência do desbaste e da fertilização no deslocamento da medula e rachaduras de extremidade de tora de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden". Revista Cerne, Lavras, v. 13, n. 2, p. 170-177
- López, C. 2004. "Variación genética en procedencias y progenies de *Eucalyptus camaldulensis* introducidas en el noroeste Argentino". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. España. p.18.
- López (h.) J. y P. Genes. 2005. "Ajuste y validación de un método no-destrutivo para seleccionar genotipos de *Eucalyptus grandis* con bajo nivel de tensiones de crecimiento". 3º Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Corrientes.
- Maree, B. y F. Malan. 2000. "Growing for solid hardwood products: a South African experience and perspective". In: Proceedings of an IUFRO Conference on the Future of Eucalypts for Wood Products, Launceston, Tasmania, Australia, p. 319-327.
- Nicholson, J. 1971. "A rapid method for estimating longitudinal growth stresses in logs". Wood Science and Technology, v. 5, n. 1, p. 40-48.
- Souza, M.; P. Trugilho; J. Lima y S. Silva Rosado. 2003. "Deformação residual longitudinal e sua relação com algumas características de crescimento e da madeira em clones de Eucalipto". Revista Floresta v. 33, n. 3, p. 275-284.
- Trevisan, R.; L. Denardi; G. Cardoso; C. Haselein y E. Santini. 2013. "Variação axial do índice de rachaduras na base e no topo de toras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden". Scientia Forestalis. Piracicaba, v. 41, n. 97, p. 75-81.
- Trugilho P.; S. Iwakiri; M. Pereira da Rocha; J. Monteiro de Matos y L. Saldanha. 2004. "Efeitos da idade e classe diamétrica na deformação residual longitudinal em árvores de *Eucalyptus dunnii* maiden". R. Árbore, Viçosa-MG, v.28, n.5, p.725-731.

