

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS CUANTITATIVOS EN FAMILIAS DE
POLINIZACIÓN ABIERTA DE *Eucalyptus urophylla*¹**

**ESTIMATION OF QUANTITATIVE GENETIC PARAMETERS IN OPEN
POLLINATED PROGENIES OF *Eucalyptus urophylla***

Gabriel Costa ROCHA^{2,5}; Jéssica Bezerra BANDEIRA²;
Antonio Higo Moreira de SOUSA²; Liliana HERNANDEZ²; Fernanda Maria ABÍLIO³;
Edwin Camacho PALOMINO⁴; Cristiano Bueno de MORAES²

RESUMEN – La eucaliptocultura en el Brasil representa aproximadamente 5,6 millones de hectáreas plantadas, con una producción media de madera de 39 m³.ha.año para el año 2014. *Eucalyptus urophylla* se destaca como una de las especies más utilizadas e importantes del género para los programas de mejoramiento en el país. De esta forma, el objetivo del presente trabajo fue estimar los parámetros genéticos para las características silviculturales en un ensayo de progenies de polinización abierta de *Eucalyptus urophylla*, considerando diferentes edades. El experimento fue implantado en área perteneciente a la empresa Eucatex, localizada en la ciudad de Itatinga/SP en un diseño de bloques al acaso, 20 progenies, nueve repeticiones, cinco plantas por parcela, totalizando 900 plantas. Se realizaron las siguientes evaluaciones: a) altura de plantas; b) diámetro de planta a la altura del pecho y c) volumen de madera en metros cúbicos. La estimación de los parámetros genéticos cuantitativos fue realizado adoptando el procedimiento REML/BLUP. El análisis de desviación mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las progenies en estudio. La heredabilidad media de las progenies ($h^2_{mp\%}$) para los caracteres altura de planta a los 36 meses de edad (ALT: 96), diámetro a la altura del pecho (DAP: 94) y volumen de madera (VOL: 95) mostró alto control genético para la expresión de los caracteres. Las correlaciones fenotípicas y genéticas presentaron valores altos (70 a 97%) realizadas con base al DAP, optimizando el trabajo del mejorador.

Palabras clave: ensayo de progenie; selección genética; mejoramiento forestal.

¹Recebido para análise em 20.05.2016. Aceito para publicação em 18.07.2016.

²Universidade Federal do Tocantins – UFT, *Campus* de Gurupi, Rua Badejós, Lote 7, Chácara 69/72, Zona Rural, Caixa Postal 66, 77402-970, Gurupi, TO, Brasil.

³Empresa Eucatex, S.A. 811/909, Rua Ribeirão Preto, Jardim Marília, 13323-010, Salto, SP, Brasil.

⁴Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Instituto de Biodiversidade e Florestas – IBEF, Rua Vera Paz, s/n, Salé, 68035-110, Santarém, PA, Brasil.

⁵Autor para correspondência: Gabriel Costa Rocha – gabriel_costarocha@hotmail.com

ABSTRACT – The eucalypt cultivation in Brazil is approximately 5,6 million hectares planted, with an average wood production of 39 m³/hectares per year for 2014. *Eucalyptus urophylla* stands out as one of the most used and important species of the genus for the improvement programs in the country. Thus, the objective of this study was to estimate genetic parameters for silvicultural characters at a test of open pollinated progenies of *Eucalyptus urophylla*, considering different ages. The experiment was established in an area that belongs to the Eucatex company, located in the city of Itatinga/SP in a design of randomized blocks, 20 progenies, nine replicates, five plants per plot, totaling 900 plants. The following evaluations were performed: a) plant height, b) plant diameter at breast height and c) wood volume in cubic meters. The estimation of quantitative genetic parameters was executed by adopting the REML/BLUP procedure. The analysis of variance presented significant differences ($p < 0.05$) among the studied progenies. The average heritability of progenies ($h^2_{mp\%}$) for the characters plant height at 36 months of age (H: 96), diameter at breast height (DBH: 94) and wood volume (VOL: 95), presented high genetic control for the characters expression. The phenotypic and genetic correlations showed high values (70 to 97%), performed based on DBH, optimizing the work of the breeder.

Keywords: progeny testing; genetic selection; forest breeding.

1 INTRODUCCIÓN

El sector forestal es un importante contribuyente para la producción de productos maderables y no maderables, contribuyendo con empleos directos e indirectos para el país, totalizando 7,7 millones de hectáreas de área plantada en el año de cultivo de 2013, aumentando 42% su área entre los años de 2006 a 2013 (Indústria Brasileira de Árvores – IBA, 2014).

Fue en el año de 1970 que el *Eucalyptus urophylla* fue introducido en Brasil, originario de las islas orientales del archipiélago de Sonda (Indonesia) situada entre las latitudes de 7° a 10° S y altitud entre 300 y 3.000 msnm (Pryor y Johnson, 1971). Es una de las 900 especies de eucalipto (Brooker y Kleining, 2006) más utilizado comercialmente, con buen crecimiento y resistencia a plagas y enfermedades (Fonseca et al., 2010).

Esta especie posee también grande potencial de adaptación, rusticidad y capacidad de brotación y ha sido la principal especie utilizada para la producción de híbridos con *Eucalyptus grandis* (Rocha et al., 2007; Madhibha et al., 2013). Este híbrido viabilizó plantaciones tolerantes al chancro en el litoral del Estado de Espírito Santo,

al déficit hídrico en áreas de Sabana, además de presentar buenas características de madera para las más diversas opciones de uso.

Una etapa importante en un programa de mejoramiento a largo plazo para *Eucalyptus urophylla* son las investigaciones básicas para conocer mejor la variabilidad genética de la población principal de trabajo (Rocha et al., 2006; Moraes et al., 2014a).

Estudios muestran que existe suficiente variabilidad genética a ser explorada, debido a la existencia de diversas procedencias, permitiendo realizar la selección para regiones tropicales, temperadas y subtropicales (Pryor y Johnson, 1971).

De esta manera los parámetros genéticos cuantitativos son herramientas importantes para que el fito mejorador conozca previamente la variabilidad existente y facilite la adopción de la mejor estrategia de selección (Zobel y Talbert, 1984; Falconer, 1987; Vencovsky y Barriga, 1992).

Así, el objetivo del presente trabajo fue el de estimar los parámetros genéticos para las características silviculturales de un ensayo de progenies de polinización libre de *Eucalyptus urophylla* considerando diferentes edades de evaluación, bien como de las correlaciones genéticas y fenológica.

2 MATERIAL Y MÉTODOS

La implantación del experimento se llevó a cabo en el mes de agosto de 2010 en una hacienda de la empresa Eucatex S/A, localizada en la ciudad de Itatinga/SP. El tipo de suelo fue un Neosuelo Quartzarenico y presentaba características edafoclimáticas del tipo Cwa (templado húmedo con invierno seco y verano caliente), según la clasificación de Köppen (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, 1999; Rolim et al., 2007).

Las progenies estudiadas de polinización abierta de *Eucalyptus urophylla* son originarias del Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, procedentes de Indonesia, de Timor y de Flores.

El delineamiento estadístico adoptado fue el de bloques al acaso, compuesto por 20 progenies, nueve repeticiones, cinco plantas por parcela con espaciado de 3 x 2 metros y dos lines como borde en torno del experimento.

Fueron evaluadas las siguientes características: 1) altura de árbol (ALT, m); 2) diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) y 3) volumen de madera (VOL, m³) en metros cúbicos.

Las estimaciones de los componentes de variancia y de los parámetros genéticos fueron generados con el apoyo del programa SELEGEN utilizando el procedimiento REML/BLUP (estimativa de los parámetros genéticos por máxima verosimilitud restricta – REML, y predicción de los valores genéticos por el procedimiento de la mejor predicción lineal no alterado – BLUP), como propuesto por Resende (2007).

Los datos fueron analizados utilizando el modelo número 93 para los análisis individuales de cada experimento: $Y = Xr + Za + Wp + \epsilon$, donde: y es el vector de datos, r es el vector de los efectos de repeticiones (considerados como fijos) sumados a la media general, a es el vector de los efectos genéticos aditivos individuales (asumidos como aleatorios), p es el vector de los efectos de parcela (asumidos como aleatorios) y ϵ es el vector del error o residuos (aleatorios). Las letras mayúsculas representan las matrices de incidencia para los efectos referidos. X , Z y W son matrices de incidencia conocidas, formadas por valores de cero y uno, las cuales asocian las incógnitas r , a y p al vector de datos y , respectivamente.

La metodología de los modelos mixtos permite estimar r por el método de los cuadrados mínimos generalizados y predecir a y p por el procedimiento BLUP (Unbised). Por medio de los algoritmos EM se realiza el procedimiento REML (Restrict Maximum Likelihood) o método de la máxima verosimilitud, donde las resoluciones de matrices generan estimativas de efectos ajustados de los vectores calculados. Serán calculados los siguientes parámetros genéticos cuantitativos:

Varianza genética aditiva ($\hat{\sigma}_a^2$)

$$\hat{\sigma}_a^2 = [\hat{a}' A^{-1} \hat{a} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} (A^{-1} C^{22})] / q$$

Varianza ambiental entre parcelas ($\hat{\sigma}_c^2$)

$$\hat{\sigma}_c^2 = [\hat{c}' \hat{c} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr} C^{33}] / s_1$$

Varianza residual (ambiental + no aditiva) ($\hat{\sigma}_e^2$)

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \hat{r}' X'y - \hat{a}' Z'y - \hat{c}' W'y] / [N - r(x)]$$

En que: C^{22} y C^{33} viene de la inversa de C .

C : matriz de los coeficientes de las ecuaciones del modelo mixto.

tr: operador trazo matricial.

$r(x)$: puesto de la matriz X .

N , q , s_1 : números de datos, de individuos y de parcelas, respectivamente.

Varianza fenotípica individual: $\hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_c^2 + \hat{\sigma}_e^2$

Heredabilidad individual en sentido estricto

$$\text{(efectos aditivos): } \hat{h}_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{\hat{\sigma}_f^2}$$

Heredabilidad de la media de progenies:

$$\hat{h}_m^2 = \frac{(1/4) \cdot \hat{\sigma}_a^2}{(1/4) \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \frac{\hat{\sigma}_c^2}{r} + \frac{(0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2)}{n \cdot r}}$$

Heredabilidad aditiva dentro de parcela:

$$\hat{h}_{ad}^2 = \frac{0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2}{0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2}$$

Coefficiente de variación genética aditiva individual:

$$CV_{gi}(\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100$$

Coefficiente de variación genotípica entre progenies:

$$CV_{gp}(\%) = \frac{\sqrt{0,25 \hat{\sigma}_a^2}}{\hat{m}} \cdot 100$$

Coefficiente de variación experimental:

$$CV_{exp}(\%) = \frac{\sqrt{[0,75 \cdot \hat{\sigma}_a^2 + \hat{\sigma}_e^2] / n} + \hat{\sigma}_e^2}{\hat{m}} \cdot 100$$

Coefficiente de variación relativa: $CV_r = \frac{CV_{gp}}{CV_{exp}}$

Precisión de la selección de progenies, asumiendo

sobrevivencia completa: $\hat{r}_{aa} = \sqrt{\hat{h}_m^2}$

Coefficiente de determinación de los efectos de

parcela: $\hat{C}_p^2 = \frac{\hat{\sigma}_c^2}{\hat{\sigma}_f^2}$

Las correlaciones genéticas y fenotípicas bien como la prueba de significación fueron estimadas por las ecuaciones de Lambeth, según Resende (2007), utilizando los modelos 102 y 105 del programa SELEGEN.

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados muestran diferencias significativas ($p < 0,05$) por el test de la razón de verosimilitud (distribución chi-cuadrado) asociada al análisis de la desviación (Resende, 2007), para las diferentes progenies, para las diferentes edades de evaluación y para las características silvoculturales de interés.

Las progenies presentaron satisfactoriamente su desenvolvimiento y crecimiento vegetativo a lo largo de su ciclo, durante el experimento.

Las variables silvoculturales estudiadas (DAP, ALT y VOL) presentaron valores medios para el ensayo a los 36 meses de 9,37 cm; 12,6 m y 0,044 m³ respectivamente, para las condiciones ambientales de la hacienda São José do Bromado, que están de acuerdo con los valores encontrados para *Eucalyptus* en la literatura científica (Ettori y Sato, 1996; Del Quiqui et al., 2001).

La presencia de variabilidad genética entre las progenies posibilita la selección de individuos con características silvoculturales de interés para los programas de clonación. Las estimativas del coeficiente de variación experimental (CV_{exp} %) variaron de 6,88% a 36,0% para las variables diámetro a la altura del pecho (DAP), altura de planta (ALT) y volumen de madera (VOL), encontrándose dentro de lo permisible para ensayos de campo.

Según Pimental-Gomes y Garcia (2002), los valores para el coeficiente de variación experimental (CV_{exp} %) varían en función del carácter en estudio, siendo que valores inferiores de 10% son de alta precisión, 10 a 20%, medios y encima de 20% menor precisión para experimentos de campo, confirmando que los valores encontrados en el presente trabajo son adecuados para experimentos de *Eucalyptus* sobre estas condiciones (Tabla 1).

Tabla 1. Coeficientes de variación experimental (CV_{exp} %) y media de las características: altura de la planta (ALT, m), diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) y volumen de madera en metros cúbicos (VOL, m³) para las progenies de *Eucalyptus urophylla* a los 6, 24 y 36 meses de evaluaciones.

Table 1. Coefficients of experimental variation (CV_{exp} %) and average of the features: plant height (H, m), diameter at breast height (DBH, cm) and volume of wood in cubic meters (VOL, m³) for the progeny of *Eucalyptus urophylla* at 6, 24 and 36 months of assessments.

Caracteres	6 meses		24 meses		36 meses	
	Media	CV _{exp} %	Media	CV _{exp} %	Media	CV _{exp} %
ALT (m)	1,66	15,07	8,02	10,53	12,60	6,88
DAP (cm)	2,93	13,21	6,35	15,10	9,37	10,17
VOL (m ³)	0,006	36,00	0,014	30,00	0,044	24,21

La heredabilidad al nivel de individuos (\hat{h}_a^2) presentó valores variando de 32 a 79% para los caracteres de crecimiento en las progenies de polinización abierta de *E. urophylla* a lo largo de las edades evaluadas. Según Pires et al. (2011),

la heredabilidad informa sobre la proporción relativa de las influencias genéticas y ambientales sobre la manifestación fenotípica de los caracteres, por tanto, la facilidad o dificultad para mejorar determinados caracteres (Tabla 2).

Tabla 2. Estimación de la heredabilidad al nivel de individuos y de media de progenies ($\hat{h}_a^2\%$), ($\hat{h}_{mp}^2\%$), heredabilidad aditiva dentro de progenies ($\hat{h}_{ad}^2\%$) y precisión al nivel de progenies ($\hat{r}_{aa}^2\%$) para los caracteres altura de planta (ALT, m), diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) y volumen de madera en metros cúbicos (VOL, m³) considerando progenies de *Eucalyptus urophylla* a los 6, 24 y 36 meses de edad.

Table 2. Estimated heritability at the level of individuals not adjusted ($\hat{h}_a^2\%$), ($\hat{h}_{mp}^2\%$), additive heritability within progenies ($\hat{h}_{ad}^2\%$) and accuracy to the progenies ($\hat{r}_{aa}^2\%$) for characters level height (H, m), diameter at breast height (DAP, cm) and volume of wood in cubic meters (VOL, m³) whereas progeny of *Eucalyptus urophylla* at 6, 24 and 36 months of age.

Parámetros genéticos (%)	6 meses	24 meses	36 meses
ALT m			
\hat{h}_a^2	35	40	79
\hat{h}_{mp}^2	80	94	96
\hat{h}_{ad}^2	30	16	69
\hat{r}_{aa}^2	88	97	97
DAP cm			
\hat{h}_a^2	52	47	71
\hat{h}_{mp}^2	90	90	94
\hat{h}_{ad}^2	43	35	62
\hat{r}_{aa}^2	94	95	97
VOL m ³			
\hat{h}_a^2	32	64	77
\hat{h}_{mp}^2	84	94	95
\hat{h}_{ad}^2	23	53	68
\hat{r}_{aa}^2	92	96	97

Según Vencovsky y Barriga (1992) el coeficiente de heredabilidad tiene alto control genético cuanto más próximo de uno, mientras que los caracteres de baja heredabilidad son más influenciados por los factores ambientales, cuando los valores obtenidos están próximos de cero.

Las estimativas de la heredabilidad al nivel de media de progenies ($\hat{h}_{mp}^2\%$) para los caracteres: altura de planta en las edades de 6, 24 y 36 meses fueron de 80, 94 y 96 respectivamente, para el diámetro a la altura del pecho fueron de 90, 90 y 94 respectivamente y para el volumen de madera de 84, 94 y 95% respectivamente,

revelando un alto control genético para la expresión de los caracteres y demostrando condiciones favorables para la selección de las características en estudio, siendo coherentes con los valores encontrados por otros autores (Mori et al., 1988; Lima et al., 2011).

Las estimaciones de la heredabilidad, tomando como base la media de familias fueron en general superiores a aquellos de dentro de familias ($\hat{h}_{ad}^2\%$), que está de acuerdo con los estudios con otras especies (Paula et al., 2002; Martins et al., 2005), indicando que la selección basada en la media de familias debe ser más eficiente que dentro de familias, considerando la misma intensidad de selección.

Martins et al. (2001), en sus estudios con *Eucalyptus grandis*, encontraron valores de heredabilidad media de progenies para ALT y DAP iguales a 68 y 69% respectivamente, ubicándose próximos de los encontrados en el presente experimento.

Zanata et al. (2010) estudiando *Eucalyptus pellita* encontraron valores para de 85% para ALT y 90% para DAP, valores superiores a los encontrados en este trabajo. En el presente trabajo, las heredabilidades fueron clasificadas de acuerdo con la interpretación de Resende (1995) que considera valores de heredabilidades de 1 a 15% bajas; 15 a 50% medianas y encima de 50% altas.

La precisión selectiva representa la relación entre el valor genético verdadero y el estimado, presentándose adecuados para todas las características estudiadas, variando de 88 a 97%. Eso indica buena precisión al acceso de la variación genética verdadera a partir de la variación fenotípica observada para el carácter (Resende y Duarte, 2007). Estos resultados están próximos a los obtenidos por Lima et al. (2011) estudiando 61 progenies de polinización controlada de *Eucalyptus*, en tres regiones edafoclimáticas en el estado de Minas Gerais, considerando la variable circunferencia a la altura del pecho (CAP, cm) a los 30 y 84 meses de edad ($r\hat{a}a$ 84 y 88 respectivamente).

La precisión superior a 50% ($r\hat{a}a$) está adecuada, de acuerdo con Resende (2007), demostrando buena precisión para la selección de genotipos. Este valor indica que cuanto mayor la precisión acuracia al momento de evaluar individuos o progenies, más será la confiabilidad de la evaluación y del valor predicho.

De acuerdo con Pires et al. (2011) la precisión depende también de la heredabilidad del carácter, de la cantidad y calidad de informaciones y procedimientos utilizados en la predicción de los valores genéticos. Como es una medida asociada a la calidad de selección, la precisión es el principal elemento del progreso genético, donde los mejoradores pueden alterar y optimizar mejoramiento genético.

El coeficiente de variación genética individual (CV_{gi} %), lógicamente, fue mayor que los de variación genética de progenies (CV_{gp} %) en todas las edades del presente trabajo CV_{gp} % explora apenas $\frac{1}{4}$ da variação aditiva). El CV_{gi} % vario de 21,3% a los 6 meses para la altura a 76% a los 24 meses de edad para el volumen y la misma tendencia fue encontrada para el CV_{gp} %. Los resultados muestran que existe alta variabilidad genética para VOL, bajo las condiciones experimentales en las que se realizó (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficientes de variación genética al nivel de individuos (CV_{gi} %) y de progenies (CV_{gp} %) y coeficiente de variación relativa (CV_r) para los caracteres de altura (ALT, m), diámetro a la altura del pecho (DAP, cm) y volumen de madera en metros cúbicos (VOL, m³) considerando progenies de *Eucalyptus urophylla* a los 6, 24 y 36 meses de evaluación.

Table 3. Coefficients of genetic variation at the level of individuals (CV_{gi} %) and progenies CV_{gp} % and coefficient of variation CV_r relative to the characters height (H, m), diameter at breast height (DBH, cm) and volume of wood in cubic meters (VOL, m³) whereas progeny of *Eucalyptus urophylla* at 6, 24 and 36 months of evaluation.

Parámetros genéticos	6 meses	24 meses	36 meses
		ALT m	
CV_{gi} %	21,3	27,92	22,51
CV_{gp} %	10,6	13,95	11,25
CV_r	0,67	1,32	1,63

continua
to be continued

continuación – Tabla 3
 continuation – Table 3

Parámetros genéticos	6 meses	24 meses	36 meses
		DAP cm	
CV_{gi} %	26,5	30,8	27,6
CV_{gp} %	13,2	15,4	13,8
CV_r	1,00	1,02	1,30
		VOL m ³	
CV_{gi} %	56,0	76,0	70,0
CV_{gp} %	28,0	38,0	35,0
CV_r	0,76	1,26	1,44

El coeficiente de variación relativa (CV_r) presentó valores de moderados a altos en el ensayo, variando de 0,67 a 1,63. Según Vencovsky y Barriga (1992), tales valores son considerados altos. Los valores bajos de CV_r indican que el control genético del carácter es bajo y muy influenciado por el ambiente.

Para Vencovsky (1978) es recomendable que el presente valores próximos a 1.

Las correlaciones genéticas y fenotípicas entre los caracteres DAP, ALT y VOL en el presente trabajo demostraron tener potencial para poder realizar la selección precoz (Tabla 4).

Tabla 4. Correlaciones fenotípicas r_f y genéticas r_g entre los caracteres diámetro a la altura del pecho (DAP, cm), altura de planta (ALT, m) y volumen de madera (VOL, m³) para el experimento a las edades de 6, 24 y 36 meses.

Table 4. Phenotypic correlations r_f and genetic r_g between the characters diameter at breast height (DBH, cm), plant height (H, m) and timber volume (VOL, m³) for the experiment to ages 6, 24 and 36 months.

Edad Meses	DAP x ALT		DAP x VOL		ALT x VOL	
	r_f (%)	r_g (%)	r_f (%)	r_g (%)	r_f (%)	r_g (%)
6	70	72	91	95	77	83
24	86	86	93	97	85	90
36	83	89	96	97	86	93

Considerando la correlación del carácter DAP con las variables ALT y VOL, las correlaciones genéticas y fenotípicas entre estos en las diferentes edades fueron altas para las condiciones experimentales. Ese resultado era esperado, debido a trabajos anteriores demostrando esa asociación genética en especies forestales con altos valores de correlación (Zimback et al., 2011; Moraes et al., 2014b).

Cuando las estimativas de las correlaciones fenotípicas y genéticas muestren valores positivos, altamente significativos y altos entre los caracteres DAP, ALT y VOL sugiere la posibilidad de

selección indirecta en un carácter por la selección directa en otro.

Las correlaciones fenotípicas variaron de 70%, entre DAP x ALT a los 6 meses de edad, a 96%, entre DAP x VOL a los 30 meses. La mejor correlación entre los caracteres fue para DAP x VOL a los 36 meses de edad.

Las correlaciones genéticas variaron de 72%, entre DAP x ALT a los 6 meses de edad, a 97% de DAP x VOL para las edades de 24 y 36 meses, presentándose como las mejores correlaciones entre los caracteres.

Las correlaciones genéticas en su mayoría fueron superiores que las fenotípicas (Tabla 4), siendo que el carácter más indicado para la selección fue el DAP, considerada la de mayor precisión y de más fácil medición. Zimback et al. (2011), estudiando progenies de polinización abierta de *Eucalyptus grandis* en varias regiones edafoclimáticas, encontraron correlaciones genéticas superiores a 81% de DAP, esperando buena respuesta correlacionada en la selección para VOL.

Según Vencovsky (1978), las correlaciones genéticas y fenotípicas entre las variables altura de planta y diámetro a la altura del pecho, en especies forestales, son positivas y de elevada magnitud, demostrando que la selección artificial puede ser realizada en una de ellas, sin perjudicar la otra característica.

En la presente investigación el carácter DAP presentó correlación genética de 97% con el VOL a las edades de 24 y 36 meses. El carácter ALT, también puede ser utilizado para realizar selección con un menor peso en un índice de selección por presentar componentes genéticos intermediarios y correlaciones con volumen un poco menores.

4 CONCLUSIONES

Existen variaciones genéticas significativas entre las progenies de polinización abierta de *Eucalyptus urophylla* para las características silvoculturales, lo que indica el potencial de la población para el futuro del programa de mejoramiento;

El DAP fue altamente correlacionado con el VOL (97%), indicando que la selección puede ser realizada con base apenas en el DAP, disminuyendo costos y tiempo.

5 AGRADECIMIENTOS

A la empresa Eucatex S.A. por el financiamiento, conducción del experimento y proporcionar los resultados para su publicación.

BIBLIOGRAFÍA

BROOKER, M.I.H.; KLEINIG, D.A. **Field guide to *Eucalyptus***. 3. ed. Melbourne: Blooming, 2006. v. 1, 356 p.

DEL QUIQUI, E.M.; MARTINS, S.S.; SHIMIZU, J.Y. Avaliação de espécies e procedências de *Eucalyptus* para o noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p. 1173-1177, 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 1999. 412 p.

ETTORI, L.C.; SATO, A.S. Testes de procedências de *Eucalyptus pseudoglobulus* e *Eucalyptus maidenii* em Itapeva, SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 8, n. 2, p. 205-211, 1996.

FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 1987. 279 p.

FONSECA, S.M. et al. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2010. 200 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. São Paulo: Indústria Brasileira de Árvores, 2014. Disponível em: <http://www.iba.org/shared/iba_2014_pt.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2015.

LIMA, J.L. et al. Early selection of parents and trees in *Eucalyptus* full-sib progeny tests. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 11, n. 1, p. 10-16, 2011.

MADHIBHA, T. et al. Genetic parameter estimates for interspecific *Eucalyptus* hybrids and implications for hybrid breeding strategy. **New Forests**, v. 44, p. 63-84, 2013.

MARTINS, I.S. et al. Comparação entre os processos de seleção entre e dentro e o de seleção combinada, em progênies de *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 16-24, 2005.

_____.; MARTINS, R.C.C.; CORREIA, H.S. Comparação entre seleção combinada e seleção direta em *Eucalyptus grandis*, sob diferentes intensidades de seleção. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 36-43, 2001.

MORAES, C.B. et al. Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção de árvores de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 623-629, 2014a.

_____. et al. Estimativas dos parâmetros genéticos para seleção precoce de clones de *Eucalyptus* para região com ocorrência de geadas. **Scientia Florestalis**, v. 42, n. 102, p. 219-227, 2014b.

MORI, E.S.; KAGEYAMA, P.Y.; FERREIRA, M. Variação genética e interações progênes x locais em *Eucalyptus urophylla*. **IPEF**, n. 39, p. 53-63, 1988.

PAULA, R.C. et al. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 159-165, 2002.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba FEALQ, 2002. 309 p.

PIRES, I.E. et al. **Genética florestal**. Viçosa, MG: Arka, 2011. 318 p.

PRYOR, L.D.; JOHNSON, L.A.S. **A classification of the *Eucalyptus***. Canberra: Australian National University, 1971. 101 p.

RESENDE, M.D.V. **SELEGEN-REML/BLUP**: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 359 p.

_____.; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

_____. et al. Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variâncias de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, v. 25, n. 1/2, p. 3-16, 1995.

ROCHA, M.D.B. et al. Avaliação genética de progênes de meio-irmãos de *Eucalyptus urophylla* utilizando os procedimentos REML/BLUP e E (QM). **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 369-379, 2006.

ROCHA, M.G.B. et al. Seleção de genitores de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* para produção de híbridos interespecíficos utilizando REML/BLUP e informação de divergência genética. **Revista Árvore**, v. 31, n. 6, p. 977-987, 2007.

ROLIM, G.S. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711-720, 2007.

VENCOVSKY, R. Genética quantitativa. In: PATERNIANI, E. (Coord.) **Melhoramento do milho no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1978. p. 122-201.

_____.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

ZANATA, M. et al. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção em teste de progênes de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, em Batatais/SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 22, n. 2, p. 233-242, 2010.

ZIMBACK, L. et al. Correlações entre caracteres silviculturais durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, v. 23, n. 1, p. 57-67, 2011.

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley & Sons, 1984. 496 p.