

**Avaliação genética de procedências de bandarra  
(*Schizolobium amazonicum*) utilizando REML/BLUP  
(máxima verossimilhança restrita/melhor predição  
linear não viciada)**





ISSN 1677-8618  
Setembro, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 55***

**Avaliação genética de procedências  
de bandarra (*Schizolobium  
amazonicum*) utilizando REML/BLUP  
(máxima verossimilhança restrita/  
melhor predição linear não viciada)**

Rodrigo Barros Rocha  
Abadio Hermes Vieira  
Michelliny de Matos Bentes Gama  
Luiz Marcelo Brum Rossi

Porto Velho, RO  
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Rondônia**

BR 364 km 5,5, Caixa Postal 406, CEP 76815-800, Porto Velho, RO

Telefones: (69) 3901-2510, 3225-9387, Fax: (69) 3222-0409

www.cpafrro.embrapa.br

**Comitê de Publicações**

Presidente: *Cléber de Freitas Fernandes*

Secretária: *Marly de Souza Medeiros*

Membros:

*Abadio Hermes Vieira*

*André Rostand Ramalho*

*Luciana Gatto Brito*

*Michelliny de Matos Bentes-Gama*

*Vânia Beatriz Vasconcelos de Oliveira*

Normalização: *Daniela Maciel*

Editoração eletrônica: *Marly de Souza Medeiros*

Revisão gramatical: *Wilma Inês de França Araújo*

\* Revisado conforme o Manual de Editoração da Embrapa e Novo Acordo Ortográfico

**1ª edição**

1ª impressão (2008): 100 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.  
Embrapa Rondônia.

---

Avaliação genética de procedências de bandarra (*Schizolobium amazonicum*) utilizando REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada). / Rodrigo Barros Rocha ... [et al]. -- Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2008.  
16 p. -- (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Rondônia, 1677-8618 ; 55)

1. Espécies Florestais madeireiras. 2. *Schizolobium amazonicum*.  
3. Variabilidade genética. I. Rocha, Rodrigo Barros. II. Vieira, Abadio Hermes. III. Bentes-Gama, Michelliny de Matos. IV. Rossi, Luiz Marcelo Brum. V. Título. VI. Série.

---

CDD(21.ed.) 634.9

© Embrapa – 2008

# Sumário

<b>Resumo</b> .....	5
<b>Abstract</b> .....	6
<b>Introdução</b> .....	7
<b>Material e métodos</b> .....	8
<b>Experimentos de campo</b> .....	8
<b>Avaliações dendrométricas</b> .....	8
<b>Estimativas dos parâmetros genéticos</b> .....	9
<b>Resultados e discussão</b> .....	11
<b>Médias e análise de variância</b> .....	11
<b>Componentes de variância e estimativas de herdabilidade</b> .....	12
<b>Seleção de matrizes e progresso genético</b> .....	13
<b>Conclusões</b> .....	15
<b>Referências</b> .....	15



# **Avaliação genética de procedências de bandarra (*Schizolobium amazonicum*) utilizando REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada)**

---

Rodrigo Barros Rocha<sup>1</sup>  
Abadio Hermes Vieira<sup>2</sup>  
Michelliny de Matos Bentes Gama<sup>3</sup>  
Luiz Marcelo Brum Rossi<sup>4</sup>

## **Resumo**

Entre as essências florestais nativas da Região Norte, de potencial para a produção madeireira, destaca-se a bandarra pelo seu rápido crescimento e qualidade de madeira. O objetivo deste trabalho foi quantificar a variabilidade genética entre procedências de bandarra e o progresso genético com a prática da seleção, visando caracterizar área de produção de sementes (APS). Foram avaliadas três procedências de bandarra provenientes dos estados de Rondônia, Pará e Acre em delineamento de blocos ao acaso com informação dentro de parcela, instalado no espaçamento de 4 m x 2 m em Ouro Preto d'Oeste – RO. Foram avaliadas as características: diâmetro a altura do peito DAP (cm), altura total ALT(m) e volume de madeira VOL (m<sup>3</sup>) aos nove anos de idade. A análise da variância indicou a existência de variabilidade genética entre as procedências a 1 % de probabilidade somente para as características ALT(m) e VOL (m<sup>3</sup>). A acurácia do procedimento de seleção entre procedências apresentou magnitude elevada e suas estimativas de progresso genético devem ser consideradas para prever a média na próxima geração. As estimativas de progresso genético indicam 20,6 % de ganho em volume com a seleção entre procedências e 31 % com a seleção entre e dentro de procedências. As procedências avaliadas apresentaram boa adaptabilidade geral, com potencial para a produção de madeira na região e variabilidade genética suficiente para ser explorada com estruturação em famílias.

<sup>1</sup> Biólogo, D.Sc. em Genética e Melhoramento, pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO, rodrigo@cpafro.embrapa.br

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, M.Sc. em Ciência Florestal, pesquisador da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO, abadio@cpafro.embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheira Florestal, D.Sc. em Ciência Florestal, pesquisadora da Embrapa Rondônia, Porto Velho, RO, mbgama@cpafro.embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheiro Florestal, D.Sc. em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, marcelo.rossi@cpaa.embrapa.br

# Genetic evaluation of *Schizolobium amazonicum* using REML/BLUP methodology

---

## Abstract

*Among the Amazonian trees with potential for timber production, the bandarra (*Schizolobium amazonicum*) stands out for its rapid growth and wood quality. The objective of this study was to quantify the genetic variability among bandarra provenances and the genetic gain with the selection, aiming to characterize an area of seed production. Three bandarra provenances from Rondônia, Pará and Acre states were evaluated in a randomized block design installed in Ouro Preto d'Oeste, Rondônia State. The following traits were evaluated: diameter at breast height (cm), total height (m) and wood volume (m<sup>3</sup>) at nine year trees. The analysis of variance indicated the existence of genetic variability among the provenances with 1% probability only for the traits, total height and wood volume. The higher accuracy of the selection among provenances indicated that it should be preferred to predict the genetic gains in the next generation. Estimates of genetic progress indicate gains in wood volume of 20,6% with the selection among provenances and 31% with the selection among and within provenances. The evaluated provenances showed good general adaptability with the potential to produce timber in the region and genetic variability to be used in future selection cycles.*

## Introdução

Atualmente o reflorestamento com essências nativas é uma das principais alternativas que vem sendo considerada para a recuperação de áreas degradadas na Região Norte do país (VIEIRA et al., 2008). Além dos benefícios ecológicos da recuperação de áreas degradadas, o aumento da oferta de madeira reflorestada contribuirá para renda nas propriedades rurais e para redução da má exploração dos recursos naturais (TONINI et al., 2006; SOUZA et al., 2008). O rápido crescimento volumétrico e a qualidade diferenciada da madeira caracterizam as essências florestais nativas de potencial para o reflorestamento, tais como a bandarra (*Schizolobium amazonicum*), a andiroba (*Carapa guianensis*) e o mogno (*Swietenia macrophylla*) (RIZZINI, 1971; BIANCHETTI et al., 1997).

A agregação de valor econômico, social e ambiental a uma essência florestal nativa fundamenta-se em atividades que visam transformar um componente da biodiversidade em um recurso genético de valor econômico (CLEMENT et al., 2005, CLEMENT, 2001). O aprimoramento do sistema de produção e o desenvolvimento de materiais genéticos mais apropriados para o plantio são questões fundamentais, decisivas para o sucesso da atividade. Atualmente, a indisponibilidade de sementes de origem genética conhecida é uma das principais limitações para o estabelecimento de novos povoamentos com essências florestais nativas.

Uma das essências florestais que vem tendo sua área plantada ampliada no Estado de Rondônia é a bandarra. O *Schizolobium amazonicum*, pertencente à família Cesalpiniaceae, é uma árvore caducifólia de tamanho grande de ocorrência natural na mata primária de terra firme, várzea alta e em florestas secundárias e capoeiras (VIEIRA et al., 2008, CARVALHO, 2005; MARQUES et al., 2004; RAMALHO, 1995). De crescimento rápido, a bandarra pode atingir de 15 m a 20 m de altura e 60 cm a 80 cm de DAP entre os 12 e 15 anos (TONINI et al., 2005; RONDON, 2002; DUCKE, 1949). Sua madeira de coloração branca é mole e leve (peso específico 0,302), podendo ser utilizada na fabricação de fibras, compensados, pasta de celulose, laminados de alta qualidade, entre outras aplicações (CARVALHO, 1994; RIZZINI, 1971).

Para a definição da unidade de seleção mais apropriada na atividade florestal, considera-se que as interações genótipo  $\times$  procedência  $\times$  ambiente são em geral significativas, resultado em parte, da expressiva variação genética natural (ROCHA et al., 2005; NUNES et al., 2002; FALCONER, 1987). A ocorrência destas interações aumenta a complexidade das atividades de avaliação genética e de seleção associadas ao produto final, tendo em vista a necessidade de predição dos valores genéticos aditivos dos indivíduos (árvores matrizes) e das procedências em diversos ambientes (RESENDE, 2002).

Entre os métodos que podem ser utilizados para a obtenção de estimativas dos parâmetros genéticos destaca-se na atividade florestal a metodologia REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita/melhor predição linear não viciada) pela acurácia e precisão que confere as estimativas obtidas de ensaios desbalanceados (RESENDE, 2002; RESENDE et al., 1998; RESENDE; BERTOLUCCI, 1995; RESENDE et al., 1990). Na prática, os componentes de variância devem ser estimados com a maior precisão possível visando a seleção baseada nos maiores valores genéticos individuais e entre procedências.

O objetivo deste trabalho foi quantificar a variabilidade genética entre e dentro de procedências de bandarra e estimar o progresso genético com a prática da seleção de matrizes para área de produção de sementes em Ouro Preto d'Oeste - RO.

## Material e métodos

### Experimentos de campo

O experimento foi instalado em área pertencente à Embrapa Rondônia em Ouro Preto do Oeste, localizada nas coordenadas geográficas 10° 43' 58'' de Latitude Sul, 62° 15' 16'' de Longitude Oeste e altitude de 240 m, com precipitação média anual de 1970,9 mm, temperatura média anual de 23,6 °C e umidade relativa do ar de 82 % (SILVA, 2000). Segundo Santos (1999), o solo desta área é classificado como Latossolo Vermelho Escuro eutrófico, de textura argilosa e bem drenado.

O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com informação dentro de parcela, constituído por três procedências, que podem ser definidas como populações de polinização aberta provenientes dos estados de Rondônia, Acre e Pará. Os experimentos foram instalados em parcelas quadradas de 25 plantas agrupadas em dois blocos de cinco linhas com cinco plantas em espaçamento de 3 m x 4 m de cada procedência.

O controle da mato-competição foi feito com capinas manuais duas vezes ao ano, nos primeiros anos de idade. A caracterização química do solo foi realizada na época de plantio em três profundidades: 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm (Tabela 1).

**Tabela 1** – Resultados da análise química do solo da área experimental de Ouro Preto D´Oeste (RO).

Prof. cm	pH em H <sub>2</sub> O	P mg/dm <sup>3</sup>	K	Ca	Mg mmolc/dm <sup>3</sup>	Al + H	Al	M.O. g/Kg	V %
0-20	7,3	24,0	10,3	62	14	15	traços	15,8	85
20-40	7,1	7,0	2,8	57	13	15	traços	11,2	83
40-60	7,1	5,0	2,1	51	10	16	traços	7,2	80

Sendo: Prof: Profundidade em cm da amostra, P: fósforo trocável do solo (Mielich1), K: potássio trocável do solo (Mielich1), Mg: magnésio trocável do solo, Al + H: acidez titulável, Al: alumínio em trocável do solo, M.O.: concentração de matéria orgânica, V: saturação por bases.  
Fonte: Dados da pesquisa.

### Avaliações dendrométricas

Os caracteres dendrométricos avaliadas foram o diâmetro a altura do peito (DAP/cm), altura total ALT(m) e volume de madeira (VOL/m<sup>3</sup>) aos nove anos, que corresponde à idade técnica de corte estimada nas condições de plantio descritas na região (VIEIRA et al., 2008). O diâmetro a altura do peito foi mensurado utilizando suta mecânica de alumínio e a altura total utilizando um dendrômetro Blume-Leiss.

O volume comercial sem casca foi estimado pela seleção e ajuste de modelo de dupla entrada, a partir dos dados da cubagem rigorosa de quarenta e quatro árvores provenientes de todas as classes de diâmetro do povoamento. Na cubagem utilizou-se a metodologia de Smalian a partir da mensuração dos diâmetros a cada dois metros a partir de 1,30 m de altura. A seleção do modelo apresentado a seguir foi baseado no valor ponderado dos escores estatísticos (VP) (THIERSCH, 1997).

$$Y = ALT.(3,527.10^{-5} + 8,092.10^{-5}.ALT + 2,606.10^{-5}(DAP^2))$$

Em que: Y é a estimativa do volume da árvore em m<sup>3</sup>, ALT é a altura total em m, DAP é o diâmetro a altura do peito em cm.

## Estimativas dos parâmetros genéticos

Os valores genéticos foram estimados por meio do procedimento REML/BLUP (Máxima Verossimilhança Restrita/Melhor Predição Linear Não Viesada) das características diâmetro a altura do peito, DAP (cm), altura total, ALT(m) e volume de madeira VOL (m<sup>3</sup>). A predição dos valores genéticos utilizando a metodologia de BLUP, a partir do sistema de equações de modelos mistos presume o conhecimento dos componentes de variância que são estimados utilizando o método de máxima verossimilhança restrita REML (RESENDE, 2002). Essa metodologia tem se consolidado no setor florestal, principalmente por permitir a obtenção de estimativas mais acuradas de herdabilidade e de ganho de seleção provenientes da análise de experimentos desbalanceados.

A predição dos valores genéticos aditivos dos genitores foi feita utilizando-se o programa Selegen-REML/BLUP, e o modelo linear misto apresentado a seguir (RESENDE, 2002):

$$Y = Xb + Za + Wc + Qr + e$$

em que:

$Y$  = vetor de dados;

$X$  = matriz de incidência para o efeito fixo de bloco;

$b$  = vetor dos efeitos de bloco, tomado como fixo;

$Z$  = matriz de incidência do efeito aleatório de indivíduos;

$a$  = vetor dos efeitos genéticos aditivos tomados como aleatório;

$W$  = matriz de incidência para o efeito de parcela;

$c$  = vetor dos efeitos aleatórios de parcela;

$Q$  = matriz de incidência para o efeito de procedências;

$r$  = vetor dos efeitos aleatórios de procedências;

$e$  = vetor de erros aleatórios.

As pressuposições acerca da distribuição de  $y, b, a, c, r, e$  e das estruturas de médias e variâncias para cada vetor são dadas por:

$$y|b, V \sim N(Xb, V)$$

$$a|A, \sigma_a^2 \sim N(0, \sigma_a^2)$$

$$c|\sigma_c^2 \sim N(0, I\sigma_c^2)$$

$$r|\sigma_r^2 \sim N(0, I\sigma_r^2)$$

$$e|\sigma_e^2 \sim N(0, I\sigma_e^2)$$

$$\text{Cov}(a, c) = 0; \text{Cov}(a, r) = 0; \text{Cov}(a, e) = 0$$

$$\text{Cov}(r, c) = 0; \text{Cov}(r, e) = 0; \text{Cov}(c, e) = 0$$

Ou seja:

$$E. \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ r \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Xb \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \text{Var.} \begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ r \\ e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V & ZG & WG & QR & R \\ GZ' & G & 0 & 0 & 0 \\ CW' & 0 & C & 0 & 0 \\ RQ' & 0 & 0 & R & 0 \\ R & 0 & 0 & 0 & R \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$G = A\sigma_A^2; R = I\sigma_c^2; C = I\sigma_e^2; R = I\sigma_r^2; V = ZA\sigma_a^2Z' + WI\sigma_c^2W' + QI\sigma_p^2Q' + I\sigma_e^2;$$

Equações de modelo misto:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z & X'W & X'Q \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda_1 & Z'W & Z'Q \\ W'X & W'Z & W'W + I\lambda_2 & W'Q \\ Q'X & Q'Z & Q'W & Q'Q + I\lambda_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{a} \\ \hat{c} \\ \hat{r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \\ W'y \\ Q'y \end{bmatrix}, \text{ em que:}$$

$$\lambda_1 = \frac{1-h^2-c^2-r^2}{h^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2}; \lambda_2 = \frac{1-h^2-c^2-r^2}{c^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_c^2}; \lambda_3 = \frac{1-h^2-c^2-r^2}{r^2} = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_r^2};$$

Estimadores iterativos dos componentes de variância por REML via algoritmo EM:

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

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

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

$$\hat{\sigma}_r^2 = [\hat{r}'\hat{r} + \sigma_e^2 \text{tr}C^{44}] / t, \text{ em que:}$$

$C^{22}, C^{33}, C^{44}$  advém de:

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix}$$

$$h_p^2 = \frac{\sigma_r^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_r^2 + \sigma_e^2} : \text{coeficiente de determinação dos efeitos de procedência;}$$

$$c^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_a^2 + \sigma_c^2 + \sigma_r^2 + \sigma_e^2} : \text{correlação devida ao efeito comum de parcela.}$$

## Resultados e discussão

### Médias e análise de variância

A sobrevivência das plantas foi diferenciada entre procedências, sendo que a população do Estado de Rondônia, mesmo ambiente em que os plantios foram conduzidos, apresentou o maior percentual de sobrevivência (Tabela 2). A adaptabilidade diferencial ao ambiente é um dos fatores determinantes do desenvolvimento e, segundo Cruz et al., 2003, refere-se à capacidade intrínseca de resposta das populações às condições ambientais.

**Tabela 2.** Produtividades das parcelas experimentais avaliadas aos sete anos de idade na área experimental de Ouro Preto d'Oeste por Vieira et al., 2008.

Essências florestais	Espaçamento	DAP (cm)	VOL (m <sup>3</sup> )	Sobrevivência	VSC/há (m <sup>3</sup> )
Bandarra Acre	3x4	17,20	0,19	0,67	106,04
Bandarra Pará	3x4	20,01	0,28	0,73	170,27
Bandarra Rondônia	3x4	17,90	0,21	0,86	150,44
Teca	3x4	22,60	0,21	0,89	156,68
Eucalipto (1341)	3x2	20,70	0,16	0,77	206,78
Eucalipto (1232)	3x2	18,20	0,12	0,72	146,80
Eucalipto (1270)	3x2	17,70	0,12	0,85	163,79
Eucalipto (0321)	3x2	17,30	0,12	0,88	173,98
Eucalipto (0103)	3x2	15,10	0,09	0,89	143,61

DAP (cm): diâmetro a altura do peito em cm; VOL (m<sup>3</sup>): volume em m<sup>3</sup>; VSC/há (m<sup>3</sup>): volume sem casca por hectares em m<sup>3</sup>.  
Fonte: Dados da pesquisa.

As médias e as variâncias das características são compatíveis com outros estudos (TONINI ET AL., 2006; SOUZA et al., 2008). Os valores do coeficiente de variação experimental ficaram dentro dos limites que, de acordo com Garcia (1989), indicam uma boa precisão na análise dos dados (Tabela 3). Uma comparação aos setes anos com outras essências florestais avaliadas por Vieira et al., 2008, mostra que as três procedências de bandararra apresentaram boa produtividade na região de estudo (Tabela 2).

**Tabela 3.** Produtividade das parcelas experimentais avaliadas aos nove anos de idade.

Procedências	ALT (m)	DAP (cm)	VOL (m <sup>3</sup> )	Sobrevivência	VSC/há (m <sup>3</sup> )
Acre	25,81b	18,17a	0,23b	0,67	128,37
Pará	28,26a	21,58a	0,34a	0,73	206,75
Rondônia	18,33c	18,93a	0,27b	0,86	193,42
<b>Média geral</b>	<b>24,23</b>	<b>19,44</b>	<b>0,29</b>		
<b>CV<sub>e</sub></b>	<b>7,12</b>	<b>6,62</b>	<b>15,79</b>		

Médias seguidas pela mesma letra não diferem de acordo com o teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. ALT (m): Altura total em m; DAP (cm): diâmetro a altura do peito em cm; VOL (m<sup>3</sup>): volume em m<sup>3</sup>; VSC/há (m<sup>3</sup>): volume sem casca por hectares em m<sup>3</sup>.  
Fonte: Dados da pesquisa.

As estimativas da estatística F dos efeitos de procedências são informações exploratórias que subsidiam a prática da seleção. A análise da variância indicou a existência de variabilidade genética entre as procedências a 1% de probabilidade somente para as características ALT(m) e VOL (m<sup>3</sup>) (Tabela 4). Apesar do DAP ser um dos componentes da produtividade de madeira (em m<sup>3</sup>) de maior facilidade de mensuração, a ausência de variabilidade genética significativa entre as procedências limitou a utilização desta característica para seleção.

**Tabela 4.** Estimativas de componentes de variância:  $\hat{\sigma}_r^2$ : variância genotípica entre procedências,  $\hat{\sigma}_e^2$ : variância ambiental entre parcelas,  $\hat{\sigma}_c^2$ : variância residual dentro de parcelas,  $\hat{\sigma}_f^2$ : variância fenotípica individual;  $h_p^2$ : coeficiente de determinação dos efeitos de procedências,  $h_{mp}^2$ : herdabilidade média de procedência,  $CV_g$ : coeficiente de variação genética.

Estimativas dos parâmetros	ALT (m)	DAP (cm)	VOL (m <sup>3</sup> )
$\hat{\sigma}_r^2$	25,670	1,842	0,005684
$\hat{\sigma}_e^2$	61,977	36,312	0,04678
$\hat{\sigma}_c^2$	0,283	0,081	0,00011
$\hat{\sigma}_f^2$	87,897	38,234	0,05257
$h_p^2$	0,292 +/- 0,146	0,048 +/- 0,06	0,11 +/- 0,05
$h_{mp}^2$	0,95	0,69	0,78
$CV_g$	20,89	6,98	25,99
$c_p^2$	0,003219	0,002127	0,002090

Fonte: Dados da pesquisa.

## Componentes de variância e estimativas de herdabilidade

As estimativas dos componentes de variância e do quociente entre a variância genética e a variância total permitem quantificar a natureza aditiva do padrão de herança complexo e subsidia as estimativas de progresso genético (RESENDE, 2002; ROCHA et al., 2006). A menor contribuição dos efeitos genéticos na variação da característica DAP deve-se ao efeito não significativo observado entre procedências (Tabela 4). Os valores observados do coeficiente de determinação devido ao ambiente comum da parcela ( $c_p^2$ ), que quantifica a variabilidade ambiental dentro de parcela, foram inferiores ao valor de 0,10, que segundo Resende (1990), é compatível com experimentos considerados precisos (Tabela 5).

**Tabela 5.** Estimativas dos efeitos genotípicos, progresso genético e acurácia com a prática da seleção entre procedências.

Procedência	g	u + g	Ganho VSC/ha (m <sup>3</sup> )	Nova média VSC/ha (m <sup>3</sup> )
Pará	0,0583	0,3512	0,058	0,3512
Rondônia	-0,0159	0,2770	0,021	0,3141
Acre	-0,0425	0,2504	0,000	0,2929
A <sub>c</sub>	0,97	0,83	0,88	

g: efeito genotípico predito, u: média da população, A<sub>c</sub>: acurácia com a prática da seleção entre procedências, VSC/há (m<sup>3</sup>): volume sem casca por hectares em m<sup>3</sup>.

Fonte: Dados da pesquisa.

Outra medida de qualidade avaliada foi o desvio padrão da herdabilidade que permite quantificar a acurácia das estimativas na predição dos valores genéticos. Segundo Resende (1990), valores de desvio padrão até 20 % do valor da estimativa de herdabilidade indicam uma boa precisão. Observou-se que os valores de herdabilidade individual no sentido restrito foram de baixa magnitude e com valores de desvio-padrão maiores que 20 % do valor das estimativas (Tabela 4). Valores de herdabilidade inferiores a 0,15 também foram relatados em outros trabalhos com a seleção individual para os caracteres avaliados e que, segundo Zobel (1984) deve-se a herança quantitativa complexa que influencia no desenvolvimento das árvores. A estruturação em famílias de meio-irmãos a partir das melhores matrizes é uma estratégia que permite melhor explorar a variabilidade dentro de procedências.

Por outro lado, os valores elevados da herdabilidade média observados entre as procedências, indicaram um considerável progresso genético em resposta à seleção entre procedências (Tabela 5).

### Seleção de matrizes e progresso genético

A escolha da característica VOL para seleção de matrizes baseou-se no fato da mesma ter apresentado variabilidade genética significativa entre procedências e acurácia de predição, associado aos fatos de que é a característica que mais se aproxima do produto final e da produtividade de madeira, que naturalmente apresenta correlação positiva com ALT e DAP.

A procedência “Pará” foi a única população que apresentou média positiva dos efeitos genotípicos preditos para a característica VOL (m<sup>3</sup>). Embora a média dos efeitos genotípicos das outras procedências tenha sido negativa, a predição dos valores genéticos individuais permitiu identificar matrizes superiores dentro de procedências. A caracterização das matrizes de desempenho superior objetiva maximizar o ganho genético na próxima geração a partir da identificação de árvores matrizes selecionadas.

A menor acurácia dos valores de herdabilidade observados para a unidade de seleção individual dentro de procedência não implica em erro na classificação das matrizes, e sim nas estimativas do progresso genético. Isto significa que, o ganho predito com a seleção entre procedências se aproxima com maior acurácia da média da próxima geração do que o progresso genético predito com a seleção individual (Tabela 6).

A caracterização da área de produção de sementes e a identificação das melhores matrizes subsidia a etapa seguinte da manipulação deste recurso genético, a estruturação das procedências em famílias de meios-irmãos. A tabela 4 mostra somente os genótipos que apresentaram efeitos genéticos aditivos de contribuição positiva para a expressão do volume. Além das plantas provenientes da procedência “Pará” de efeito genotípico médio positivo, observou-se plantas da procedência “Rondônia” que também apresentaram contribuição positiva para o volume.

**Tabela 6.** Estimativas dos parâmetros genéticos dos genótipos que apresentaram efeito genético aditivo positivo na expressão da característica volume (m<sup>3</sup>arv<sup>-1</sup>). As árvores selecionadas como matrizes estão identificadas com um asterisco(\*).

Ordenamento	Bloco	Proc.	Árvore	f	a	u + a	Ganho	Nova média
1(*)	2	1	3	1,0985	0,1377	0,4306	0,1377	0,4306
2(*)	1	1	2	0,9734	0,1268	0,4197	0,1323	0,4251
3(*)	1	1	1	0,8558	0,1141	0,4069	0,1262	0,4191
4(*)	2	1	7	0,8558	0,1116	0,4044	0,1226	0,4154
5(*)	2	1	8	0,7194	0,0969	0,3898	0,1174	0,4103
6(*)	2	1	17	0,6936	0,0941	0,387	0,1135	0,4064
7(*)	1	1	3	0,6188	0,0884	0,3812	0,1099	0,4028
8(*)	1	1	9	0,5713	0,0834	0,3763	0,1066	0,3995
9(*)	2	1	6	0,5948	0,0834	0,3762	0,104	0,3969
10(*)	2	1	14	0,5948	0,0833	0,3761	0,102	0,3948
11(*)	1	1	10	0,5035	0,076	0,3689	0,0996	0,3925
12(*)	2	1	13	0,4607	0,0689	0,3618	0,097	0,3899
13(*)	2	1	12	0,3807	0,0602	0,3531	0,0942	0,3871
14(*)	1	1	8	0,3256	0,0569	0,3497	0,0915	0,3844
15(*)	2	1	23	0,3256	0,0543	0,3472	0,0891	0,3819
16(*)	2	1	21	0,3256	0,0543	0,3472	0,0869	0,3797

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Ordenamento	Bloco	Proc.	Árvore	f	a	u + a	Ganho	Nova média
17(*)	2	1	4	0,3082	0,0524	0,3453	0,0849	0,3777
18(*)	2	1	1	0,2748	0,0488	0,3416	0,0829	0,3757
19(*)	2	1	5	0,2432	0,0455	0,3384	0,0809	0,3738
20(*)	2	1	18	0,2136	0,0423	0,3352	0,079	0,3718
21(*)	2	1	20	0,2136	0,0423	0,3351	0,0772	0,3701
22(*)	1	3	14	0,7999	0,0418	0,3346	0,0756	0,3685
23(*)	1	1	4	0,1726	0,0403	0,3331	0,0741	0,3669
24	2	1	22	0,1858	0,0392	0,3321	0,0726	0,3655
25	2	1	9	0,1858	0,0392	0,3321	0,0713	0,3641
26	2	1	11	0,1726	0,0379	0,3308	0,07	0,3629
27	2	1	16	0,1599	0,0366	0,3294	0,0688	0,3616
28	2	1	2	0,1599	0,0364	0,3292	0,0676	0,3605
29	2	1	15	0,1476	0,035	0,3278	0,0665	0,3593
30	2	1	19	0,1137	0,0315	0,3243	0,0653	0,3582
31	2	1	10	0,1137	0,0314	0,3242	0,0642	0,3571
32	1	1	7	0,075	0,0297	0,3225	0,0631	0,356
33	1	1	11	0,0665	0,029	0,3218	0,0621	0,355
34	1	1	5	0,0585	0,0281	0,3209	0,0611	0,354
35	1	1	6	0,0585	0,0279	0,3208	0,0602	0,353
36(*)	2	3	12	0,6936	0,0279	0,3207	0,0593	0,3521
37(*)	2	3	10	0,6936	0,0279	0,3207	0,0584	0,3513
38(*)	2	3	4	0,6432	0,0225	0,3153	0,0575	0,3503
39(*)	2	3	6	0,5948	0,0172	0,31	0,0564	0,3493
40(*)	2	3	15	0,5256	0,0097	0,3025	0,0553	0,3481
41(*)	1	3	15	0,44	0,0029	0,2958	0,054	0,3468
42(*)	2	3	7	0,4607	0,0027	0,2955	0,0528	0,3456

f: valor fenotípico individual (medição em campo); a: efeito genético aditivo predito; u + a: valor genético aditivo predito.

Dois critérios foram considerados para a seleção de matrizes e instalação do pomar de hibridização: a intensidade de seleção e o número efetivo. O ganho genético é inversamente proporcional à intensidade de seleção que quantifica o número de indivíduos selecionados (CRUZ et al., 2003). O número de indivíduos selecionados foi determinado de modo a maximizar o limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético corrigido para endogamia (RESENDE et al., 1998; RESENDE, et al., 1995).

A maximização do limite inferior do intervalo de confiança do ganho genético corrigido para endogamia ocorreu com a seleção das 11 melhores plantas; todas elas provenientes da procedência "Pará". A nova média prevista com a seleção destes indivíduos é de 0,39 m<sup>3</sup>; valor este 25 % superior à média das três procedências.

Além deste critério, também foi considerado a necessidade de se trabalhar com maior número de indivíduos para assegurar um número efetivo mínimo, que permita a realização de cruzamentos e maior eficiência nas etapas seguintes de seleção. Alguns autores sugerem que o número efetivo mínimo de 30 seja mantido no estabelecimento de unidades de recombinação em plantas perenes e essências florestais (RESENDE, 2002).

A associação destes critérios foi utilizada para seleção de 22 melhores matrizes da procedência "Pará" e as oito melhores matrizes da procedência "Rondônia" baseado no ordenamento dos valores genéticos para compor a pomar de hibridização, com uma média de 0,38 m<sup>3</sup>arv<sup>-1</sup>, valor este 23 % superior à média das três procedências.

## Conclusões

1. A acurácia do procedimento de seleção entre procedências apresentou magnitude elevada e suas estimativas de progresso genético devem ser consideradas para prever a média na próxima geração.
2. A seleção entre e dentro de procedências utilizando o método REML/BLUP mostrou-se eficiente resultando em estimativas de progresso genético de 20,6 % com a seleção entre procedências e 31 % com a seleção entre e dentro de procedências.
3. As procedências avaliadas apresentaram boa adaptabilidade geral, bom potencial para a produção de madeira na região e variabilidade genética suficiente para ser explorada com estruturação das procedências em famílias.
4. A característica volume mostrou-se mais apropriada que o DAP e a ALT para a seleção das matrizes que irão constituir a área de produção de sementes de bandarra.

## Referências

- BIANCHETTI, A.; TEIXEIRA, C.A.D.; MARTINS, E.P. **Tratamentos para superar a dormência de sementes de Bandarra (*Schizolobium amazonicum*) Huber ex. Ducke**. Porto Velho: Embrapa-CPAF Rondônia, 1997. 2p. (Embrapa-CPAF Rondônia. Comunicado Técnico, 20).
- CARVALHO, J.R.C. Resposta de plantas de *Schizolobium amazonicum* [*S. parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v.20, n.6, p.907-914, 2005.
- CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais potencialidades e uso da madeira**. Colombo: Embrapa-CNPQ, 1994. 640p.
- CLEMENT, C.R. **Melhoramento de espécies nativas** In: NASS, L.L, VALOIS, A.C.C.; MELO, I.S.; VALADARES-INGLIS, M.C. Recursos genéticos e melhoramento de plantas. Rondonópolis, MT: Fundação de Apoio à Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso, 2001. p. 423- 441.
- CLEMENT, C.R.; LLERAS PÉREZ, E.; VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociencia, Montevideo**, v.9, n.1, p.67-71, 2005.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 2003. v. 2. 585p.
- DUCKE, A. **Notas sobre a flora neotrópica II: As leguminosas da Amazônia brasileira**. 2.ed. Belém: IAN, 1949. 248p. (IAN. Boletim técnico, 18).
- FALCONER, D.S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa, MG: UFV, 1987. 279p.
- GARCIA, C.H. **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 1989. 11p. (IPEF. Circular Técnica, 171).
- MARQUES, T.C.L.L.S.M.; CARVALHO, J.G.; LACERDA, M.P.C.; MOTA, P.E.F. Crescimento inicial do Paricá (*Schizolobium amazonicum*) sob omissão de nutrientes e de sódio em solução nutritiva. **Cerne**, v.10, n.2, p.184-195, 2004.
- NUNES, G.H.S.; REZENDE, G.D.S.P.M; RAMALHO, M.A.P.; SANTOS, J.B.S. Implicações da interação genótipos x ambientes na seleção de clones de eucalipto. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 49-58, 2002.
- RAMALHO, R.S. **Dendrologia Tropical** (terminologia). 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 1995. 52 p.
- REZENDE, M.D.V. de; ARAÚJO, A.J. de ; SAMPAIO, P. de T.B. Acurácia seletiva, intervalos de confiança e variâncias de ganhos genéticos associados a 22 métodos de seleção em *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 21, p.1-18, 1990.

RESENDE, M.D.V. de; MORA, A.L.; HIGA, A.R.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Efeito do tamanho amostral na estimativa da herdabilidade em espécies perenes. *Floresta*, v.28, p.51-63, 1998.

RESENDE, M.D.V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p., 2002. 975 p.

RESENDE, M.D.V.; BERTOLUCCI, F.L.G. **Maximization of genetic gain with restriction on effective population size and inbreeding in *Eucalyptus grandis***. In: IUFRO CONFERENCE "EUCALYPT PLANTATIONS: IMPROVING FIBRE YIELD AND QUALITY", 1995. Hobart. **Proceedings...** Hobart: CRC for Temperate Hardwood Forestry, 1995. p. 167-170.

RIZZINI, C.T. **Árvores e madeira úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira**. São Paulo: Blucher, 1971. 292p.

ROCHA, R.B.; MURO-ABAD, J.I.; ARAÚJO, E.F.; CRUZ, C.D. Avaliação do método centróide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. *Ciência Florestal*, v.15, n.3, p.255-266, 2005.

ROCHA, M.G.B.; PIRES, I.E.; ROCHA, R.B.; XAVIER, A.; CRUZ, C.D. Avaliação genética de progênies de meios irmãos de *Eucalyptus grandis* utilizando procedimentos REML/BLUP e da ANOVA. *Scientia Forestalis*, v. 71, n. 4, p. 99-107, 2006.

RONDON, E.V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. *Revista Árvore*, v.26, n.5, p.573-576, 2002.

SANTOS, P.L. **Levantamento semi-detalhado dos solos do campo experimental de Ouro Preto D'Oeste**. Belém: Embrapa-CPATU, 1999. 38p. (Embrapa-CPATU. Documento, 8).

SILVA, M.J.G. **Boletim climatológico de Rondônia – 1999**. Porto Velho: SEDAM/RO, 2000. v. 2, 24p.

SOUZA, C.R.; LIMA, R.M.B.; AZEVEDO, C.P.; ROSSI, L.M.B. Desempenho de espécies florestais para uso múltiplo na Amazônia. *Scientia Forestalis*, v.36, n.77, p.7-14, 2008.

THIERSCH, A. **A eficiência das distribuições diamétricas para a prognose da produção de *E. camaldulensis***. 1997. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, MG.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M.F.; SCHWENGBER, D.; MOURÃO JÚNIOR, M.O. Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. *Cerne*, v.12, n.1, p.8-18, 2006.

TONINI, H.; PEREIRA, M.R.N.; ARCO-VERDE, M.F.; MOURÃO JUNIOR, M.O. **Seleção de equações para o paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke), no estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2005. 17p. (Embrapa Roraima. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 04).

VIEIRA, A.H.; ROCHA, R.B.; BENTES-GAMA, M.M.; TEIXEIRA, C.A.D.; MARCOLAN, A.L.; VIEIRA JÚNIOR, J.R. **Sistema de produção de Bandarra para o Estado de Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia. 2007. 20p. (Embrapa Rondônia. Sistema de produção, 28).

ZOBEL, B.; TALBERT, J. **Applied forest tree improvement**. New York: John Wiley, 1984. 505p.



**Embrapa**

---

**Rondônia**

Ministério da  
Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento

