

Seleção Precoce para Incremento Simultâneo do Crescimento e da Qualidade da Madeira em *Pinus taeda* L.*

*Estefano Paludzyszyn Filho*¹

*Vanilda R. S. Shimoyama*²

*Admir Lopes Mora*²

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a eficiência da seleção precoce de genitores e progênies para incremento simultâneo do crescimento e da qualidade da madeira. Para isso, 48 progênies de meios irmãos de *Pinus taeda* foram implantadas em espaçamento de 0,5 m x 0,5 m. E as mesmas foram avaliadas aos 16 meses para diâmetro a 30 cm do solo e para a densidade básica da madeira. Esses valores foram comparados ao diâmetro à altura do peito e a densidade básica do tronco comercial, nas mesmas progênies, aos 84 meses em experimentos em dois locais no espaçamento de 3 m x 2 m. Os componentes de variância, parâmetros e valores genéticos foram obtidos por modelo misto individual. As herdabilidades, aos 16 e 84 meses, para o diâmetro ($h^2 = 0,24$ e $0,22$ respectivamente) e para a densidade ($h^2 = 0,27$ e $0,19$ respectivamente), sugerem que esses caracteres são herdáveis. As correlações genéticas entre idades foram positivas e de alta magnitude para diâmetro ($r^2 = 0,90$) e para a densidade ($r^2 = 0,86$). Entre caracteres, os valores foram sempre negativos, indicando dificuldades para progresso

* Extraído da tese de doutorado, apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR

¹ Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*,

² Norske-Skog, Rod. PR 151, Km 232, CEP 84200-000, Jaguariaíva, PR. vanilda.shim@norske-skog.com.br; admir.mora@norske-skog.com.br

simultâneo. A seleção precoce foi de eficiência similar (96%) à seleção direta nos dois caracteres. Nove genitores mostraram valores genéticos aditivos, nas duas idades, que favorecem o incremento simultâneo do crescimento e da qualidade da madeira. A metodologia de avaliação precoce de progênies, cultivadas em espaçamentos reduzidos permite ampliar a base genética de seleção, aumentando a probabilidade de se identificar genótipos que favoreçam, simultaneamente, a qualidade e o volume da madeira.

Palavras-chave: correlação juvenil-adulto, ganho genético, melhoramento florestal, densidade básica.

Early Selection for Simultaneous Genetic Gain For Wood Growth and Quality in *Pinus taeda* L.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the efficiency of the early selection of parents and progeny for simultaneous increment of the growth and wood quality. For this, 48 open-pollinated families of *Pinus taeda* were grown at close spacing (0,5m x 0,5m). At the age of 16 months they were assessed for stem diameter at 30 cm above the ground and for wood basic density. The data were compared to diameter at breast height and basic density of commercial stem of the same progenies at 84 months under field conditions. Phenotypic and genetic parameters were estimated using an individual tree model. The narrow sense heritabilities in the 16^o and 84^o month for diameter ($h^2 = 0,24$ e $0,22$) and density ($h^2 = 0,27$ e $0,19$) suggest that they are inherited. The additive genetic age-age correlations were highly for diameter ($r^2 = 0,90$) and for basic density ($r^2 = 0,86$) indicating that growth and basic density at maturity could be improved by early selection of the same growth and quality trait. Trait-trait correlations indicated that genetic correlations between diameter and wood basic density were negative and high indicating difficulties for simultaneous genetic gain by selection. Efficiencies of early selection indicated similar efficiency for the same trait at 84 months. To improve volume and

quality of wood nine parents were selected by additive genetic breeding values at the two ages. This allows to conclude that early evaluation of progeny grown in close-spacing in a nursery field is a useful methodology to increase genetic gains in an generation by increasing the probability of selecting genotypes that favor simultaneously wood quality and growth traits.

Keywords: juvenile-mature correlation, genetic gain, tree breeding, genetic correlation.

1. INTRODUÇÃO

O *Pinus taeda* L. apresenta características de reprodução que dificulta o melhoramento da espécie. O longo ciclo do melhoramento, superior a dez anos no sul-sudeste do Brasil, e a reprodução apenas por semente, eleva os custos da experimentação. Por isso, testa-se, de modo geral, um reduzido número de progênies por geração, o que resulta em ganhos genéticos reduzidos. Estratégias de melhoramento, bem como a avaliação e a seleção precoce possibilitam reduzir custos sendo utilizadas nos programas de melhoramento florestal (Adams et al., 2001; Bridgwater & McKeand, 1997; Wu, 1998).

Nos testes genéticos de *P. taeda*, as progênies são comumente avaliadas aos seis-oito anos de idade, correspondendo ao desempenho na idade de rotação (Balocchi et al., 1994; McKeand, 1988). Isso possibilita antecipar os desbastes para formar pomares de sementes por mudas.

Diferente da tradicional, a avaliação precoce de progênies em espaçamentos reduzidos em casas-de-vegetação, câmaras de crescimento e em áreas de maior homogeneidade ambiental possibilita avaliar elevado número de progênies por geração de seleção (Williams & Megraw, 1994; Woods et al., 1995; Bridgwater & McKeand, 1997; Wu, 1998; Adams et al., 2001). Nessa metodologia, a altura do fuste avaliada até os dois anos permite predizer o desempenho das progênies entre oito e doze anos de idade (Bridgwater & McKeand, 1997). Para Williams & Megraw (1994), que avaliaram a densidade básica em amostras do caule a 30 cm de altura do solo aos dois anos de idade, esses valores podem ser utilizados na seleção de progênies. Isso possibilita identificar precocemente os genitores de desempenho superior, cujas progênies serão avaliadas nos testes genéticos tradicionais, e incrementar a base genética de seleção (Wu, 1998).

Testes de progênies, em delineamentos estatísticos, permitem estimar parâmetros fenotípicos e genéticos bem como prever os valores genéticos em cruzamento. Adicionalmente podem ser avaliadas as relações entre caracteres, a eficiência dos métodos de seleção e estimar os progressos genéticos pela seleção. Em *P. taeda* a herdabilidade é de magnitude moderada a elevada para caracteres ligados ao crescimento (Belonger, 1998); já para densidade básica da madeira, varia de moderada (Belonger, 1998) a elevada (Williams & Megraw, 1994). A correlação genética entre diâmetro e densidade é negativa (Loo et al., 1984; Gwaze et al., 2001) a moderadamente positiva (Williams & Megraw, 1994). Para Zobel & Jett (1995), o crescimento e a densidade básica da madeira são regidos por genes independentes. Corroborando este fato, Harding (1995) concluiu que a seleção de árvores com densidade de madeira elevada não compromete ganhos do crescimento, enquanto Gwaze et al. (2001) sugerem que os métodos de seleção devem ser aprimorados para se obter ganhos genéticos simultâneos nesses caracteres.

O objetivo deste trabalho, ao comparar as mesmas progênies sob diferentes modos de plantio e idades de avaliação, é demonstrar que é possível obter maiores ganhos genéticos na seleção, em uma geração, pelo uso da avaliação precoce, mesmo em caracteres tidos como regidos por genes de efeitos antagônicos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Avaliação de progênies em testes florestais

Os dados, aos 84 meses, foram obtidos em testes de 48 progênies de meios irmãos implantados pela Pisa Florestal em 1991, nos municípios de Sengés (experimento 1) e Jaguariaíva (experimento 2), próximos da latitude 24° 03' Sul, no estado do Paraná. As progênies, obtidas de pomar clonal instalado a partir de seleções fenotípicas em plantios comerciais no final da década de 70 (Fonseca et al., 1980), foram avaliadas em experimentos com nove blocos completos casualizados em parcelas lineares de seis plantas espaçadas em 3 m x 2 m. O diâmetro do fuste foi avaliado à altura do peito (DAP) nas árvores sobreviventes.

A densidade básica média do tronco comercial (DB) foi determinada pelo método da balança hidrostática em amostra extraída de disco transversal de 3 cm a 5 cm de espessura, retirado na medida correspondente a 25% do comprimento do tronco comercial a partir da base das árvores não selecionadas do pomar de sementes por mudas.

Avaliação de progênies em espaçamento reduzido

Os dados do diâmetro e densidade básica na idade de 16 meses foram obtidos nas mesmas 48 progênies, plantadas em 1997 na fazenda experimental da Embrapa em Ponta Grossa-PR (latitude 25°50' Sul), em Latossolo Vermelho Amarelo fase arenosa. O experimento foi instalado em nove blocos completos casualizados com parcelas lineares de seis plantas distanciadas em 0,5 m x 0,5 m. O fechamento dos espaços entre plantas ocorreu aos 16 meses, idade na qual foi medido o diâmetro do fuste a 30 cm do solo. Nessa altura foi retirada uma amostra do caule de 5 cm, sem casca e, determinada a densidade básica da madeira pelo método da balança hidrostática.

Análises estatísticas

A variação dos caracteres, diâmetro e densidade nos testes de progênies dos experimentos 1 e 2 e em espaçamento reduzido foi analisada por modelo linear misto (modelo aditivo univariado) conforme Resende & Fernandes (1999).

Os dados avaliados nos experimentos 1 e 2 foram agrupados, considerando a não-significância da interação progênie com locais obtida conforme Resende (2000). A análise dos dados, nas duas idades seguiu o modelo 1, porém no plano bivariado conforme Resende et al. (1999). Esse modelo multivariado trata um mesmo caráter avaliado em diferentes locais, idades, e/ou estádios de desenvolvimento, como sendo diferentes caracteres (Resende, 2000), o que permite utilizar o subprograma multivariado DXMUX do programa DFREML. As estimativas fornecidas pelo DFREML, análises uni e bivariadas, foram: herdabilidade individual no sentido restrito (\hat{h}^2); coeficiente de variação genético aditivo (CV_a); variância entre parcelas (σ^2_o); variância genética aditiva (σ^2_a); variância fenotípica (σ^2_p) e correlação em decorrência do ambiente comum das parcelas (\hat{c}^2).

Utilizando o modelo bivariado foram estimadas pelo DFREML as correlações genéticas e fenotípicas entre as seguintes combinações de caracteres nas idades de 16 e 84 meses: $Diâm_{(16)} \times DAP_{(84)}$; $DB_{(16)} \times DB_{(84)}$; $Diâm_{(16)} \times DB_{(16)}$; $DAP_{(84)} \times DB_{(84)}$. Entre caracteres em diferentes indivíduos e idades a correlação genética aditiva foi estimada a partir da correlação fenotípica.

A eficiência da seleção precoce por geração de melhoramento, para diâmetro e densidade básica da madeira, para melhorar o mesmo caráter aos 84 meses, comparada à seleção nessa idade, foi computada conforme Falconer (1989). Nesse procedimento, a intensidade de seleção é assumida ser a mesma nas duas idades: $ER = h_{(16)} \cdot r_a \cdot h_{(84)}^{-1}$ em que r_a é a correlação genética aditiva entre os caracteres nas idades de 16 e 84 meses; $h_{(16)}$ e $h_{(84)}$ são as raízes das herdabilidades desses caracteres nas respectivas idades.

Estimou-se o ganho genético da população pela seleção de genitores, por caracteres e idades a partir dos valores genéticos aditivos (VG's), esses obtidos pela melhor predição linear não viciada, BLUP (Resende, 2000), a partir do modelo misto nível bivariado. A média dos indivíduos de maior VG foi considerada como o incremento da média da próxima geração na idade 84 meses. A dispersão gráfica dos VG's dos 48 genitores, preditos para as duas idades, foi utilizada para avaliar a possibilidade de formar uma população elite que incremente simultaneamente o DAP e a DB.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perda média de dados nas progênies nos experimentos 1 e 2 variou de muito baixa para diâmetro (2% e 8% respectivamente), a alta para a densidade básica (30% e 34%, respectivamente). Nesse último caráter, a redução acentuada no número de dados deve-se ao aproveitamento dos testes de progênies como pomares de sementes. Na avaliação em espaçamento reduzido a perda de dados foi baixa (8%), por mortalidade e pelo diâmetro muito reduzido dos caules, que dificultou a amostragem da madeira. Entretanto, as perdas não comprometem a representatividade das progênies de meios irmãos. No entanto, acentuam o desbalanceamento nos dados, situação na qual os modelos mistos fornecem estimativas de parâmetros genéticos não tendenciosos (Schaeffer, 1999).

O ajuste do modelo univariado, para o efeito da interação das progênies por locais, foi não significativo para DAP e DB (LRT = 1,07 e 1,24, respectivamente) a 1% de probabilidade, o que permitiu agrupar os dados dos experimentos 1 e 2. A média geral para o diâmetro (DAP) aos 84 meses foi de 17,1 cm (Tabela 1) sendo que as médias das progênies variaram de 13,0 cm a 21,9 cm. A herdabilidade individual, no sentido restrito do DAP, foi 0,22 com menor desvio padrão em relação às estimadas pelo modelo univariado, não apresentadas. Essa estimativa é superior às obtidas no âmbito de famílias (Gwaze et al., 2001) por Bridgwater et al. (1983), 0,10; por McKeand et al. (1997), 0,13; e por Belonger (1998), 0,15. Aos 16 meses, a herdabilidade do diâmetro aos 30 cm de altura, foi de magnitude assemelhada à do DAP aos 84 meses, indicando que a seleção precoce pode contribuir com o ganho genético final.

Tabela 1. Parâmetros populacionais e genéticos para diâmetro e densidade básica em progênies de meios irmãos de *P. taeda*, cultivadas em dois espaçamentos e idades.

Parâmetro	Espaçamentos	
	3 m x 2 m	0,5 x 0,5 m
Diâmetro	DAP ⁽¹⁾	Diâm ⁽²⁾
Média (cm)	17,15 ± 3,88	2,1 ± 0,49
Herdabilidade	0,22 ± 0,04	0,24 ± 0,06
CV _a (%)	9,4	11,4
Densidade	DB ⁽³⁾	DB ⁽⁴⁾
Média (g.cm ⁻³)	0,39 ± 0,05	0,27 ± 0,02
Herdabilidade	0,19 ± 0,04	0,27 ± 0,06
CV _a (%)	4,6	4,3

⁽¹⁾ Diâmetro (cm) do fuste à altura do peito; ⁽²⁾ Diâmetro (cm) do fuste a 0,30 m do solo; ⁽³⁾ Densidade básica média (g.cm⁻³) do tronco comercial; ⁽⁴⁾ Densidade básica (g.cm⁻³) da amostra de madeira do fuste a 30 cm de altura do solo aos 16 meses.

A densidade básica (DB) média dos experimentos 1 e 2 agrupados foi 0,39 g.cm⁻³ (Tabela 1), sendo que as progênies variaram de 0,34 g.cm⁻³ a 0,46 g.cm⁻³. A herdabilidade, de magnitude moderada, foi similar às obtidas na mesma idade

por Belonger (1998); Gwaze et al. (2001), e difere das estimativas em *P. taeda*, sumarizadas na literatura por Gwaze et al. (1997), que estão no intervalo de 0,42 a 1 (em se tratando de famílias).

Aos 16 meses, a DB média das progênies ($0,27 \text{ g.cm}^{-3}$) é condizente com a obtida por Bridgwater & McKeand (1997), e inferior à obtida por Williams & Megraw (1994), de ($0,36 \text{ g.cm}^{-3}$) em progênies de *P. taeda* de dois anos de idade. A herdabilidade apresentou menor magnitude do que a estimada para o mesmo caráter ($0,55 - 0,76$) por Williams & Megraw (1994) aos 24 meses. Porém de acordo com Cornelius (1994) e Wilhelmsson & Danel (1998), a elevada magnitude da herdabilidade nesse caráter não implica que serão maiores os incrementos no ganho genético por seleção, como indica o coeficiente de variação genético aditivo (Tabela 1). Comparativamente, esse coeficiente é pelo menos 50% maior no diâmetro em qualquer das idades.

A correlação genética aditiva entre idades para o caráter densidade básica da madeira foi de magnitude elevada (Tabela 2) e próxima das estimadas por Williams & Megraw (1994) em *P. taeda* ($0,76 - 0,90$) e por Vargas-Hernandez & Adams (1992) em *Pseudotsuga menziesii* ($0,53$). Essa estimativa indica que a densidade básica das progênies de *P. taeda*, avaliada em amostra do caule a 30 cm do solo aos 16 meses, corresponde a densidade básica média do tronco comercial aos 84 meses. Isso permite a seleção precoce desse caráter. Da mesma forma, o diâmetro aos 16 meses corresponde ao DAP medido nas progênies aos 84 meses como indica a magnitude elevada da correlação genética entre esses caracteres em diferentes idades ($0,90$). Quanto às correlações fenotípicas para os dois caracteres, foram de baixa magnitude, indicando que essas estimativas, se utilizadas, subestimam progressos genéticos.

As correlações genéticas aditivas entre o diâmetro e a densidade básica da madeira, nas idades avaliadas, foram moderadamente negativas, e estão de acordo com Zobel & Buijtenen (1989) e com Megraw (1985). Para esses autores os estudos das últimas décadas, em *P. taeda*, revelaram que a associação entre esses caracteres era sempre negativa. Entretanto, Harding (1995), citado por Belonger (1998), concluiu que a seleção de indivíduos com densidade de valor elevado não compromete os ganhos na taxa de crescimento. Para Zobel & Jett (1995), esses caracteres são independentes, o que aumenta a possibilidade da seleção de indivíduos de rápido crescimento e com alta qualidade da madeira.

Tabela 2. Correlações genéticas aditivas e fenotípicas entre idades e entre os caracteres diâmetro e densidade da madeira em progênies de meios irmãos de *P. taeda*

Correlação	Caracteres	Estimativas da correlação	
		Genética aditiva	Fenotípica
Entre idades ⁽¹⁾	Diâm ⁽²⁾ x DAP ⁽³⁾	0,90 ± 0,03 ⁽⁶⁾	0,22
	DB ⁽⁴⁾ x DB ⁽⁵⁾	0,86 ± 0,04	0,20
Entre caracteres	DB ⁽⁴⁾ x Diâm	- 0,52 ± 0,12	- 0,29
	DB ⁽⁵⁾ x DAP	- 0,48 ± 0,11	- 0,14

⁽¹⁾ Dezesesseis e 84 meses; ⁽²⁾ Diâm: diâmetro do fuste a 30 cm do solo aos 16 meses; ⁽³⁾ DAP: diâmetro do fuste à altura do peito aos 84 meses; ⁽⁴⁾ DB: densidade básica da amostra de madeira do fuste a 30 cm do solo aos 16 meses de idade; ⁽⁵⁾ DB: densidade básica média do tronco comercial aos 84 meses de idade; ⁽⁶⁾ Desvios padrões das estimativas.

A seleção indireta para diâmetro e densidade básica aos 16 meses foi de eficiência similar (96%) à seleção direta aos 84 meses, sugerindo que a discriminação precoce de progênies e genitores é efetiva, com pequeno sacrifício do ganho genético no caráter selecionado, compensado pelo ganho no tempo. Esse tipo de seleção permite que pomares de sementes clonais possam ser desbastados com três anos de antecedência, implicando na obtenção de sementes geneticamente melhoradas em menor prazo de tempo.

Do mesmo modo, a seleção indireta foi de eficiência similar à direta quando avaliada pelo progresso genético predito pela seleção de 20 genitores, considerando valores genéticos aditivos. O progresso foi de 8,2% para DAP aos 84 meses, elevando a média da população (17,2 cm/árvore) para 18,6 cm/árvore; para DB o progresso predito foi de 4,7%, projetando uma média de 0,41 g.cm⁻³/árvore. A seleção indireta de 20 genitores por VG's aos 16 meses incrementou a média em 7,7% para DAP e 4% para DB aos oitenta e quatro meses. Tanto a seleção direta como a indireta, para um caráter, resultaram no decréscimo do outro, como esperado, em decorrência da correlação genética aditiva negativa entre os caracteres.

Tabela 3. Ganho genético da seleção de 20 genitores para densidade básica da madeira (DB) e diâmetro (DAP) pela avaliação de progênies aos 16 e 84 meses.

Idade de avaliação	Caráter selecionado	Ganho genético no caráter resposta (%)		Média da próxima geração aos 84 meses	
		DAP	DB	DAP (cm)	DB (g.cm ⁻³)
84 meses	DAP	8,2	-2	18,6	11,2
	DB	-2,9	4,7	17,6	11,5
16 meses	Diâmetro (cm)	7,7	-2	18,5	11,2
	DB (g.cm ⁻³)	-3	4	18,3	11,3

Seleção de genitores para incremento simultâneo dos caracteres

A dificuldade no incremento do progresso genético simultâneo para DB e DAP na população é melhor visualizada pela dispersão gráfica dos valores genéticos aditivos dos 48 genitores (Gráficos 1 e 2). No Gráfico 1, estão localizados os VG's dos genitores preditos da avaliação das progênies aos 16 meses de idade em espaçamento reduzido. Verifica-se que no quadrante direito superior foram localizados nove genitores. Desses origina-se uma população cuja característica principal é o incremento simultâneo do DAP (4%) e da DB (3%). Esses resultados permitem inferir que, com o aumento da base de seleção, é possível discriminar genótipos que favoreçam simultaneamente ambos os caracteres estudados. E também corroboram Zobel & Jett (1995) e Harding (1995) que concluíram que as taxas de crescimento e a densidade básica são caracteres independentes.

No Gráfico 2 estão dispostos os VG's dos genitores obtidos da avaliação das progênies aos 84 meses. Verificou-se que, no quadrante direito superior, foram localizados também nove VG's identificados como dos mesmos genitores dos dispostos no quadrante superior da Gráfico 1. Isso indica que a metodologia de avaliação precoce utilizada foi eficiente para discriminar os genótipos também para incremento simultâneo dos caracteres diâmetro e densidade da madeira.

Diante disso, levanta-se a hipótese de que pelo aumento expressivo da base genética de seleção e pela avaliação de um maior número de progênies em espaçamento reduzido é possível atingir percentuais de progresso genético similares aos progressos pela seleção mono caráter por ciclo de melhoramento.

Gráfico 1. Dispersão gráfica dos valores genéticos aditivos dos genitores, preditos pela avaliação de progênies de *P. taeda* na idade de 16 meses, para diâmetro (Diam) e densidade da madeira (DB).

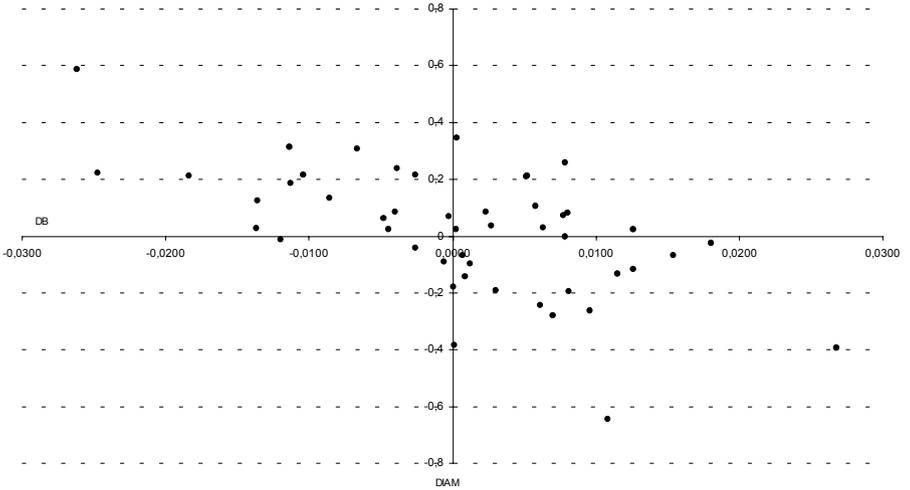
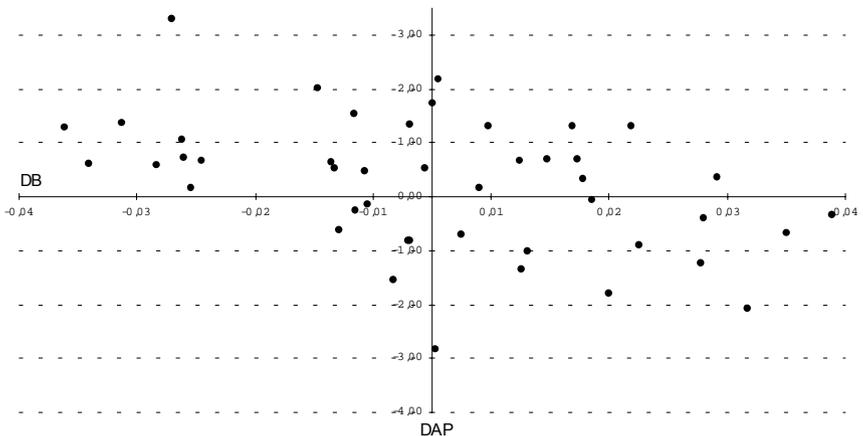


Gráfico 2. Dispersão gráfica dos valores genéticos aditivos dos genitores, preditos pela avaliação de progênies de *P. taeda* na idade de 84 meses, para diâmetro (DAP) e densidade da madeira (DB).



4. CONCLUSÕES

1. Os caracteres diâmetro e densidade básica da madeira são moderadamente herdáveis nas idades de 16 e 84 meses.
2. O diâmetro do fuste a 30 cm do solo, em progênies de meios irmãos, é um caráter que corresponde ao diâmetro do tronco comercial à altura do peito, nas idades estudadas.
3. A densidade básica média da madeira da amostra do fuste a 30 cm de altura em progênies de meios irmãos é um caráter que estima a densidade básica média da madeira do tronco comercial da idade estudada.
4. A avaliação de progênies em espaçamentos reduzidos entre plantas possibilita aumentar a base genética de seleção e a probabilidade de selecionar genótipos que incrementem, simultaneamente, a qualidade e o volume da madeira.
5. A avaliação e a seleção precoce, aos 16 meses, em progênies de *Pinus taeda*, é eficiente para selecionar genótipos superiores para crescimento e qualidade da madeira, e podem ser utilizadas como ferramenta auxiliar em programas de melhoramento.

5. REFERÊNCIAS

- ADAMS, W. T.; AITKEN, S. N.; JOYCE, D. G.; HOWE, G. T.; VARGAS-HERNANDEZ, J. Evaluating efficacy of early testing for stem growth in Coastal Douglas-fir. **Silvae Genética**, v. 50, n. 3-4, p. 167-175, 2001.
- BALOCCHI, C. E.; BRIDGWATER, F. E.; BRYANT, R. Selection efficiency for a non-selected population of loblolly pine. **Forest Science**, v. 40, n. 3, p. 452-473, 1994.
- BELONGER, P. J. **Variation of selected juvenile wood properties in four southern provenance of loblolly pine**. Raleigh: Dept. Forestry, North Carolina State University, 1998. 145 p. Ph.D. Thesis.
- BRIDGWATER, F. E.; McKEAND, S. E. Early family evaluation for growth of loblolly pine. **Forest Genetics**, v. 4, n. 1, p. 51-58, 1997.

BRIDGWATER, F. E.; TALBERT, J. T.; JAHROMI, S. Index selection for increased dry weight in a young loblolly pine population. **Silvae Genetica**, v. 32, n. 5-6, p. 157-163, 1983.

CORNELIUS, J. Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, p. 372-379, 1994.

DOBSON, A. J. **An introduction to generalized linear models**. Melbourne: Chapman & Hall, 1990. 174 p.

FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. 3rd ed. Longman: Harlow, 1989. 438 p.

FONSECA, S. M.; KAGEYAMA, P. Y.; FERREIRA, M.; JACOB, W. S. Programa conjunto de melhoramento genético e produção de sementes de *Pinus taeda* na Região Sul do Brasil. **Boletim Informativo IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 48, p. 61-73, 1980.

GWAZE, D. P.; BRIDGWATER, F. E.; BYRAM, T. D.; LOWE, W. J. Genetic parameter estimates for growth and wood density in loblolly pine (*Pinus taeda* L.). **Forest Genetics**, v. 8, n. 1, p. 47-55, 2001.

GWAZE, D. P.; WOOLLIAMS, J. A.; KANOWSKI, P. J. Optimum selection age for height in *Pinus taeda* L. in Zimbabwe. **Silvae Genetica**, v. 46, n. 6, p. 358-365, 1997.

HARDING, K. J. **Age trends of genetic parameters for wood properties of loblolly pine**. Raleigh: Dept. Forestry, North Carolina State University, 1995. 120 p. Ph.D. Thesis.

LOO, J. A.; TAUER, C. G.; BUIJTENEN, J. P. van. **Juvenile-mature relationships and heritability estimates of several traits in loblolly pine (*Pinus taeda*)**. Canadian Journal of Forest Research, v. 14, p. 822-825, 1984.

McKEAND, S. E. Optimum age for family selection for growth in genetic tests of loblolly pine. **Forest Science**, v. 34, n. 2, p. 400-411, 1988.

McKEAND, S. E.; ERICKSSON, G.; ROBERDS, J. H. Genotype by environment interaction for index traits that combine growth and wood density in loblolly pine. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 94, p. 1015-1022, 1997.

MEGRAW, R. A. **Wood quality factors in loblolly pine**: the influence of tree age, position in tree, and cultural practice on wood specific gravity, fiber length, and fibril angle. Atlanta: Tappi Press, 1985. 88 p.

MEYER, K. **DFREML**: version 3.0b. user notes. Armindale: Institute of Animal Genetics of Edinburgh: Animal Genetics and Breeding Unit of the University of New England, 1998. 31 p.

RESENDE, M. D. V. de; **Análise estatística de modelos mistos via REML/BLUP na experimentação em melhoramento de plantas perenes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 101 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 47).

RESENDE, M. D. V. de; FERNANDES, J. S. C. Procedimento BLUP individual para delineamentos experimentais aplicados ao melhoramento florestal. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 17, p. 89-107, 1999.

RESENDE, M. D. V. de; FERNANDES, J. S. C.; SIMEÃO, R. M. BLUP individual multivariado em presença de interação genótipo x ambiente para delineamentos experimentais repetidos em vários ambientes. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 17, p. 209-228, 1999.

SCHAEFFER, L. R. **Linear models**. Disponível em: <<http://www.aps.uoguelph.ca/~lrs/Animalz/lesson8/>>. Acesso em: 12 maio 1999.

VARGAS HERNANDEZ, J.; ADAMS, W. T. Age-age correlations and early selection for wood density in young coastal Douglas Fir. **Forest Science**, v. 38, n. 2, p. 467-478, 1992.

WILLIAMS, C. G.; MEGRAW, R. A. Juvenile-mature relationship for wood density in *Pinus taeda*. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 24, p. 714-722, 1994.

WOODS, J. H.; KOLOTELO, D.; YANCHUK, A. D. Early selection of coastal Douglas-Fir in a farm-field test environment. **Silvae Genetica**, v. 44, n. 4, p. 178-186, 1995.

WU, H. X. Study of early selection in tree breeding – 1. Advantage of early selection through increase of selection intensity and reduction of field test size. **Silvae Genetica**, v. 47, p. 2-3, 1998.

ZOBEL, B. J.; BUIJTENEN, J. P. van. **Wood variation: its cause and control**. Berlin: Springer-Verlag, 1989. 363 p.

ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production**. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337 p.

