

## UTILIZAÇÃO DE ÍNDICES DE SELEÇÃO NO MELHORAMENTO DE EUCALIPTO

Marcos Deon Vilela de Resende<sup>\*</sup>  
Edilson Batista de Oliveira<sup>\*\*</sup>  
Antonio Rioyei Higa<sup>\*\*\*</sup>

### RESUMO

Procurou-se investigar os aspectos da utilização de índices de seleção no melhoramento de eucalipto e apresentar a metodologia relativa à construção de índices, visando dar subsídios aos trabalhos de melhoramento. Como exemplo, foram utilizados dados de um ensaio de *E. viminalis* com 10 progênies instaladas em blocos casualizados com 5 repetições. Realizaram-se análises ao nível de médias de parcelas, a partir das quais estimaram-se índices para fins de seleção de progênies. Foram utilizados os caracteres altura da planta, diâmetro à altura do peito (DAP) e densidade básica da madeira, aos 3 anos de idade. Foram estimados os progressos genéticos com seleção em cada caráter e com seleção baseada em índice. Os resultados revelaram que a seleção baseada em índice conduz a ganhos satisfatórios em altura da planta e em DAP, acarretando entretanto, ganhos negativos na densidade básica da madeira, em função das correlações negativas observadas entre esse caráter e os demais. Sugere-se, então, a utilização de índices com restrições para progresso em densidade da madeira.

**PALAVRAS-CHAVE:** Índice de seleção, ganho genético, genética quantitativa, teste de progênie, melhoramento de eucalipto.

### UTILIZATION OF SELECTION INDEXES IN EUCALYPT BREEDING

#### ABSTRACT

A trial with 10 progenies set in 5 random blocks was analysed aiming at determining the possibilities of use of selection indexes in eucalypt breeding programs. Mean height, breast height diameter (bhd) and specific gravity (dry weight/swollen volume) were used to estimate an index for selection of progenies. Genetic gains were calculated for selection of each trait and with the use of the index. Acceptable progress of height and bhd was attained with the index alternative. However, a loss in specific gravity due to its negative correlation to the other traits was registered. The

---

\* Eng.-Agrônomo, M.Sc., CREA n° 50602/D, Pesquisador da EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas

\*\* Eng.-Agrônomo, M.Sc., CREA n° 1211/D, Pesquisador da EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.

\*\*\* Eng.-Florestal, Ph.D., CREA n° 52583D, Pesquisador da EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Florestas.

use of selection indexes with restriction for gains in wood specific gravity was recommended and procedures for their determination were presented.

KEY-WORDS: Selection indexes, genetic gain, quantitative genetics, progeny testing, eucalypt breeding.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos programas de melhoramento genético do eucalipto no Brasil tem sido comumente adotado o método da seleção entre e dentro de famílias de meios irmãos baseado em algum caráter de crescimento. Entretanto, um caráter somente não é um critério adequado para representar o mérito econômico de uma planta, uma vez que a seleção baseada no mesmo pode conduzir ao desenvolvimento de tipos economicamente insatisfatórios, seja pela não consideração de outros caracteres de importância econômica ou pelas respostas correlacionadas negativas ocasionadas em outros caracteres.

Em outros casos, o melhorista seleciona levando em conta todos os caracteres de importância econômica, mas o faz de maneira subjetiva, ou seja, sem um bom suporte científico. Os índices de seleção têm sido propostos em programas de melhoramento vegetal e animal como critério de selecionar caracteres quantitativos simultaneamente, tendo sido descritos primeiramente por SMITH (1936) e posteriormente por HAZEL (1943).

A teoria dos índices de seleção baseia-se no fato de que cada indivíduo possui um valor genético global (H) que lhe é peculiar (HAZEL & LUSH 1942). Tal valor genético, para fins de seleção, corresponde ao somatório dos valores de melhoramento ("breeding value") ( $H_i$ ) associado a n caracteres de importância econômica, ponderados por valores econômicos relativos ( $a_i$ ) correspondentes a cada caráter, ou seja  $H = \sum_{i=1}^n a_i H_i$  (SMITH 1936; HAZEL 1943; KEMPTHORNE 1957).

Como o valor de melhoramento de cada indivíduo é de difícil mensuração, H não pode ser determinado e a seleção deve basear-se num valor fenotípico do indivíduo. Esse corresponde a (SMITH 1936; HAZEL 1943; KEMPTHORNE 1957:

$I = \sum_{i=1}^n b_i X_i$ , sendo I o índice de seleção que corresponde a função linear dos valores

fenotípicos dos vários caracteres e  $b_i$ , o coeficiente associado ao valor  $X_i$  do caráter i.

A correlação entre o valor fenotípico, I, e o valor genético, H, corresponde a (LIN 1978):

$r(I, H) = COV(I, H) / (\sigma_I \sigma_H)$ , sendo COV (I, H), a covariância entre o valor fenotípico e o valor genético e,  $\sigma_I^2$  e  $\sigma_H^2$  a variância desses respectivos valores. Os coeficientes  $b_i$  devem ser determinados de modo que a correlação r (I, H) seja máxima.

A superioridade da seleção baseada em índice, considerando vários caracteres; em relação a outros métodos tem sido demonstrada (HAZEL & LUSH 1942; YOUNG 1961). Segundo COTTERILL (1986), a seleção baseada em índice tem sido, recentemente, amplamente utilizada no melhoramento florestal, proporcionando ganhos nunca menores, mas usualmente maiores quando comparados a outros métodos.

No presente trabalho procurou-se apresentar as aspectos metodológicos

relativos à construção de índices e investigar os aspectos reacionados à sua utilização no melhoramento de eucalipto, visando dar contribuição e subsídios aos trabalhos de melhoramento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dados de um ensaio de *E. viminalis* contendo 10 progênes de meios-irmãos instaladas em delineamento experimental de blocos casualizados com 5 repetições, a partir dos quais realizaram-se análises estatísticas (variância e covariância) ao nível de médias de parcelas, para altura de planta, DAP e densidade básica da madeira. O seguinte modelo linear foi utilizado:

$$Y_{ij} = \mu + p_i + b_j + e_{(ij)}$$

onde:

$\mu$  - média geral, fixa,  $E(\mu) = \mu$  e  $E(\mu^2) = \mu^2$ ;

$P_i$  - efeito da progênie  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ ), aleatória,  $E(P_i) = 0$  e  $E(P_i^2) = \sigma^2_p$

$b_j$  - efeito da repetição  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, R$ ) aleatória,  $E(b_j) = 0$  e

$$E(b_j^2) = \sigma^2_b$$

$e_{(ij)}$  - erro experimental associado à progênie  $i$  na repetição  $j$ :  $e_{(ij)} \cap N(0, \sigma^2)$ , isto é,  $E(e_{(ij)}) = 0$  e  $E(e_{(ij)}^2) = \sigma^2$

A partir das análises de variância e covariância realizadas (Tabela I) foram obtidas as seguintes estimativas de parâmetros, conforme BECKER (1975).

$$\hat{\sigma}^2_p = (Q_1 - Q_2) / r = \text{variância genética entre progênes.}$$

$$\hat{\sigma}^2_F = Q_1 / r = \text{variância fenotípica entre médias de progênie}$$

$\hat{C}\hat{O}\hat{V}_p$  = covariância genética entre dois caracteres

$\hat{C}\hat{O}\hat{V}_F$  = covariância fenotípica entre dois caracteres ao nível de médias de progênie.

$$\hat{r}_{gxy} = \hat{C}\hat{O}\hat{V}_{p(x,y)} / (\sigma_{px} \cdot \sigma_{py}) = \text{correlação genética aditiva entre os caracteres x e y}$$

**TABELA 1. Esquema das análises de variância e covariância com respectivas esperanças de quadrados e produtos médios**

F.V.	G.L.	QM	E(QM)	PM	E(PM)
Repetições	R - 1	Q <sub>1</sub>	$\sigma^2 + i \sigma_b^2$	P <sub>1</sub>	COV <sub>e</sub> + i COV <sub>b</sub>
Progênes	I - 1	Q <sub>2</sub>	$\sigma^2 + r \sigma_p^2$	P <sub>2</sub>	COV <sub>e</sub> + r COV <sub>p</sub>
Resíduo	(R - 1) (I - 1)	Q <sub>3</sub>	$\sigma^2$	P <sub>3</sub>	COV <sub>e</sub>

Os progressos esperados com seleção entre médias de progênes para cada caráter foram calculados através da expressão:

$$G_s = K \hat{\sigma}_p^2 / \hat{\sigma}_F, \text{ sendo } K \text{ o diferencial de seleção standardizado.}$$

As respostas correlacionadas, observadas em um caráter X quando se efetua seleção em outro caráter Y foram determinadas por:

$$RC(x/y) = K \hat{COV}_p(x,y) / \hat{\sigma}_F_y \quad \text{onde:}$$

$\hat{\sigma}_F_y$  = desvio padrão fenotípico entre médias de progênes para o caráter y.

Os pesos b<sub>i</sub> para construção dos índices para fins de seleção de progênes, foram determinados através do seguinte sistema de equações lineares, o qual conduz à maximização da correlação entre I e H (LIN 1978; COTTERILL 1985; BRIDGWATER & SQUILLACE 1986):

$$\sum P_{jk} b_k = \sum G_{jk} a_k$$

sendo a<sub>k</sub> e b<sub>k</sub> os coeficientes associados ao caráter K, e P<sub>jk</sub> e G<sub>jk</sub> as variâncias fenotípicas entre médias de progênes e variâncias genéticas (quando j = k) e covariâncias (quando j ≠ K) para os caracteres j e K, respectivamente, ou expresso em notação matricial

$$Pb = Ga$$

Os pesos b podem, então, ser calculados por  $b = P^{-1} G a$ , onde G representa a matriz de variâncias e covariâncias genéticas para os caracteres incluídos no índice, P a

matriz de variâncias e covariâncias fenotípicas, a o vetor coluna dos pesos econômicos relativos e b o vetor coluna dos coeficientes do índice.

Os progressos ( $\Delta G_i$ ) esperados no i-ésimo caráter com seleção entre progênes baseada em índices foram calculados através da seguintes expressão (LIN 1978, COTTERILL 1985; BRIDGWATER & SQUILLACE 1986):

$$\Delta G_i = \text{COV}(G_i|I) (K/\sigma_i)$$

onde  $\text{COV}(G_i|I)$  é a covariância entre o índice I e o valor de melhoramento  $G_i$  do i-ésimo caráter, K é o diferencial de seleção estandardizado e  $\sigma_i$  é o desvio padrão fenotípico do índice I. Os valores de  $\text{COV}(G_i|I)$  e  $\sigma_i^2$  foram estimados por:

$$\text{COV}(G_i|I) = g_i b$$

$$\sigma_i^2 = b' P b$$

onde,  $g_i$  é a i-ésima linha (1 X n) da matriz de variâncias e covariâncias genéticas e  $b'$  é a transposta de b.

Os coeficientes b, para índices com restrição tipo Kempthorne (KEMPTHORNE & NORDSKOG 1959) foram determinados conforme procedimento descrito por CUNNINGHAM et al. (1970) e apresentado por SILVA (1982). Segundo esses autores, supondo que, de q variáveis consideradas, r devam sofrer restrição para progresso genético nulo, o seguinte procedimento pode ser utilizado na construção de índices:

- a) na matriz P, os elementos correspondentes às r variáveis que devem sofrer restrição são substituídos pelos elementos correspondentes da matriz G; os respectivos elementos da diagonal de P são substituídos por zeros;
- b) na matriz G as r linhas correspondentes às restrições são substituídas por vetores - linha de zeros;
- c) Os elementos do vetor b correspondentes às variáveis a sofrerem restrições são substituídas por coeficientes "mudos", que não são considerados nas medidas fenotípicas durante o processo de seleção pelos índices.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quadrados médios para progênes foram significativos (teste F;  $P < 0,01$  ou  $P < 0,05$ ) para todos os caracteres indicando a presença de variabilidade genética (Tabela 2). Os coeficientes de variação experimental para altura, DAP e densidade corresponderam a 20,58%, 23,11% e 4,73%, respectivamente, os quais podem ser considerados dentro dos limites aceitáveis na experimental florestal.

**TABELA 2. Valores e significâncias dos quadrados médios obtidos nas análises de variâncias para os caracteres altura (m) DAP (cm) e densidade básica (g/cm<sup>3</sup>).**

F.V.	G.L.	QM altura	QM DAP	QM densidade
Blocos	4	3,8132	1,5527	0,0001302
Progenies	9	10,5664**	8,6596**	0,001000*
Resíduo	36	2,5386	3,0631	0,0004455

\*, \*\* - Significativos aos níveis de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Os parâmetros estimados a partir deste experimento foram utilizados visando exemplificar a utilização de índices no melhoramento de caracteres quantitativos em eucalipto. Assim, foram estimados os progressos com seleção em caracteres individuais, para fins de comparação.

Os ganhos, considerando 20% de intensidade de seleção, corresponderam a 1,403 m, 1,080 cm e 0,0100 g/cm<sup>3</sup> para altura, (H), DAP e densidade básica (DB), respectivamente (Tabela 3). As seleções nos caracteres altura e DAP conduzem a progressos consideráveis nos mesmos, conduzindo, porém, a respostas correlacionadas negativas (-0,00542 e -0,00714 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente) na densidade da madeira (Tabela 3). Isto ocorre em função das correlações negativas (Tabela 4) observadas entre esses caracteres e densidade da madeira.

Assim, a seleção baseada em apenas uma das características poderá, nesse caso, além de não representar o mérito econômico de uma planta, levar ao desenvolvimento de tipos comercialmente indesejáveis. Uma alternativa para esta situação é a utilização da seleção denominada "níveis independentes" (HAZEL & LUSH 1942), em que níveis mínimos são estabelecidos para cada característica, e todos os indivíduos abaixo desse nível, em pelo menos uma delas, são eliminados. Esse método tem, entretanto, a inconveniência de se ter que selecionar brandamente em cada caráter individualmente, para se chegar a uma razoável intensidade de seleção final, já que a mesma é função do produto das intensidades de seleção para cada caráter.

Outra alternativa é a seleção em "tandem" (YOUNG 1961) em que, inicialmente, seleciona-se para determinados caracteres até atingir o nível desejado e, na próxima etapa, dentre os selecionados anteriormente, seleciona-se para outras características. Nesse caso, tem-se o inconveniente de um ciclo de seleção muito longo e a possibilidade de esgotamento da variabilidade para os caracteres a serem selecionados em etapas posteriores. TURNER & YOUNG (1969) ressaltam a utilidade do método de "tandem", quando os valores econômicos de algumas características não são lineares.

**TABELA 3. Progressos esperados ( $G_s$ )\* com seleção entre médias de progênies para os três caracteres e respostas correlacionadas (RC)\* na densidade da madeira quando se efetua seleção na altura ( $RC_{DB/H}$ ) e DAP ( $RC_{DB/DAP}$ ).**

<b>Progressos com seleção</b>		
Altura (m)	DAP (cm)	Densidade ( $g/cm^3$ )
1,403	1,080	0,010
<b>Respostas correlacionadas</b>		
$RC_{DB/H}$	$RC_{DB/DAP}$	
-0,00542	-0,00714	

\* Considerou-se a mesma intensidade de seleção (20%) e seleção truncada.

A alternativa, que parece ser mais plausível, é a utilização de índices de seleção, os quais podem conduzir a ganhos satisfatórios em todos os caracteres simultaneamente. Os índices permitem combinar informações econômicas e genéticas em equações de regressão múltipla de forma a prever o valor global de um indivíduo (BRIDGWATER & SQUILLACE 1986). Segundo HAZEL & LUSH (1942) e YOUNG (1961) índices são teoricamente mais eficientes que seleção em "tandem" e níveis independentes. Além do mais, estes dois métodos ignoram as correlações entre caracteres.

Utilizando as variâncias e covariâncias genéticas e fenotípicas (Tabela 4) nas matrizes P e G, e algumas combinações de pesos econômicos relativos das características, foram determinados diversos coeficientes "b" associados a cada uma delas (Tabela 5). Os "b" em combinações lineares determinam os diversos índices a serem utilizados na seleção.

Na Tabela 6 encontram-se os progressos com seleção em cada caráter com seleção baseada nos índices. Foram empregadas três combinações de pesos econômicos relativos utilizando-se os valores 1 e 0, atribuindo pesos 1 às características mais importantes de acordo com o objetivo da seleção e 0 a situações em que as características não têm tanto valor comercial, conforme indicação de ROBINSON et al. (1951).

**TABELA 4. Estimativas de variância genética entre progênies ( $\sigma^2_p$ ), variância fenotípica entre médias de progênies ( $\sigma^2_F$ ), covariância genética entre caracteres ( $C\hat{O}V_p$ ), covariância fenotípica entre caracteres ao nível de médias de progênies ( $C\hat{O}V_F$ ) e correlações genéticas entre caracteres ( $r_g$ ) para os caracteres altura (H), DAP e densidade básica (DB) e suas combinações.**

Parâmetros	Caracteres		
	H	DAP	DB
$\hat{\sigma}^2$			
	1,6056	1,1193	0,000112
$\hat{\sigma}^2_F$	2,1133	1,7319	0,000201
$C\hat{O}V_p$	H - DAP	H - DB	DAP - DB
	1,3355	-0,008176	-0,00561
$C\hat{O}V_F$	1,8210	-0,00958	-0,00790
$r_g$	0,9962	-0,6097	-0,5010

Considerando os três caracteres igualmente importantes (pesos 1), os progressos genéticos com seleção baseada no índice corresponderam a 1,412 m, 1,170 cm e  $-0,00760 \text{ g/cm}^3$  para H, DAP e DB, respectivamente. O ganho aumentou para DAP e manteve-se constante para H em relação aos obtidos, considerando-se seleção em cada caráter isoladamente. Para densidade da madeira, o ganho apresenta-se negativo com valor próximo aos das respostas correlacionadas por seleção em H e DAP isoladamente (Tabela 4). Portanto, a seleção baseada em índice conduziu em princípio, a melhores resultados do que a seleção em caracteres individuais (de crescimento), pois além de maximizar o ganho genético total, não proporcionou ganhos inferiores em cada caráter, concordando com COTTERILL et. al. (1989).

A utilização dos pesos econômicos, 1, 1 e 0 para H, DAP e DB, respectivamente, conduz a progressos de 1,412 m, 1,160 cm e  $-0,00763 \text{ g/cm}^3$  (Tabela 6) para H, DAP e DB, respectivamente. Estes valores são semelhantes aos obtidos com os pesos 1, 1 e 1. Segundo HAZEL & LUSH (1942), atribuir pesos 0 a determinados caracteres significa que as variações desses caracteres não afetam o mérito econômico dos indivíduos, não significando, porém, que eles serão desconsiderados na seleção. Individualmente, suas correlações genéticas com o mérito econômico ou suas covariâncias fenotípicas com outros caracteres podem de ser de tal maneira que poderão ser incluídos com considerável peso no índice de seleção (HAZEL & LUSH 1942). Esse fato explica a presente situação.



**TABELA 5. Coeficientes dos índices ( b ), com e sem restrições, estimados considerando-se variações nos pesos econômicos ( a ) para os caracteres altura (H), DAP e densidade básica (DB).**

Sem restrições						
Caracteres	a	b	a	b	a	b
H	1	1,791260	1	1,799816	0	-0,008557
DAP	1	-0,475829	1	-0,483656	0	0,007828
DB	1	-1,445170	0	-1,899504	1	0,454335
Com restrições						
H	1	-1,314575	-	-	-	-
DAP	1	1,915858	-	-	-	-
DB	0	-272,7997*	-	-	-	-

\* Coeficiente nudo.

Atribuindo peso 1 para DB e 0 para os demais, foram estimados os progressos de -1,016 m, -0,757 cm e 0,0111 g/cm<sup>3</sup> para H, DAP e DB, respectivamente (Tabela 6). Nesse caso, o progresso em DB é praticamente igual ao observado pela seleção em tal caráter isoladamente. Porém, os ganhos em DAP e H são negativos.

As três combinações de pesos utilizadas não concorreram para um melhoramento adequado dos três caracteres, simultaneamente. Nessas situações, COTTERILL & JACKSON (1981) recomendam a utilização de índices com restrições. A imposição de restrições evita a deterioração de caracteres individuais, bem como permite direcionar o progresso genético em cada caráter individualmente.

A restrição de Kempthorne (KEMPTHORNE & NORDSKOG 1959) é utilizada visando restringir o progresso em certos caracteres a zero, enquanto ganhos máximos são conseguidos em outros, incluídos no índice. Tal restrição é muito útil quando os caracteres que a recebem já se encontram em um nível aceitável e adequado comercialmente, conforme relatado por COTTERILL et al. (1989).

**TABELA 6. Progressos genéticos esperados ( $G_S$ )\* com seleção baseada em índices com restrições e sem restrições considerando-se variações nos pesos econômicos (a) para os caracteres altura (H), DAP e densidade básica (DB).**

Sem restrições						
Caracteres	a	$G_S$	a	$G_S$	a	$G_S$
H (m)	1	1,412	1	1,412	0	-1,016
DAP (cm)	1	1,170	1	1,160	0	-0,757
DB (g/cm <sup>3</sup> )	1	-0,00760	0	-0,00763	1	0,0111
Com restrições						
H (m)	1	0,6219	-	-	-	-
DAP (cm)	1	0,5399	-	-	-	-
DB (g/cm <sup>3</sup> )	0	0,0	-	-	-	-

\* Considerou-se a mesma intensidade de seleção (20%) e seleção truncada.

Aplicando-se a restrição de Kempthorne, foram obtidos progressos de 0,622 m e 0,539 cm em H e DAP, respectivamente, para a combinação de peso 1, 1 e 0 (para H, DAP e DB, respectivamente). Os progressos em H e DAP reduziram a praticamente metade dos observados para os índices sem restrição, mas, evitou-se a alteração desfavorável em densidade da madeira.

Para os caracteres sujeitos à restrição de Kempthorne, os coeficientes b (Tabela 5), denominados de "mudos" por SILVA (1982), representam os pesos econômicos a serem usados em índices sem restrições, causando ganhos genéticos nulos nesses caracteres. Em índices com restrições, esses coeficientes devem ser omitidos do índice, pois as medidas fenotípicas dos caracteres sob restrição não são consideradas durante o processo de seleção.

Segundo CUNNINGHAM et al. (1970), restrições parciais também podem ser impostas, adaptando-se o método de Kempthorne. Para isso basta substituir os valores zeros na matriz P por um valor conveniente. Por exemplo, desejando-se 50% de restrição ao progresso genético de uma característica, o valor zero em P deve ser substituído por 0,50.

Um outro tipo de restrição que pode ser usada em situações como essa é a de Tallis (TALLIS 1962). Este tipo de restrição acarreta mudanças nos caracteres em uma quantidade específica ou para um valor ótimo que se queira atingir. Sendo  $\Delta G_i = COV(G, I)_i / \sigma_i = g_i^b (i/\sigma_i)$  o progresso com seleção em cada caráter com seleção baseada no índice, desejando-se, por exemplo, um aumento de 2,5 unidades em um caráter 1 para cada unidade de aumento em dois caracteres 2 e 3 (isto é,  $\Delta G_1: \Delta G_2: \Delta G_3 = 2,5: 1,0: 1,0$ ), os coeficientes para o índice podem ser derivados pela expressão  $b = G^{-1} \Delta$ , pois  $i / \sigma_i$  é um escalar, podendo ser retirado sem afetar a proporcionalidade dos b (LIN (1978). Nesta expressão  $\Delta$  corresponde ao vetor coluna

de ganhos genéticos correspondentes a cada caráter, isto é,  $\Delta' = (2,5:1, 0:1,0)$ . Determinam-se, assim, os coeficientes  $b$  que permitirão o progresso desejado, sem a necessidade de estimar os valores econômicos relativos, e as variâncias e covariâncias fenotípicas.

Considerando que esse método de especificação do ganho desejado, não possibilita a inclusão de caracteres secundários, como auxiliares no melhoramento de caracteres principais, TAÍ (1977) apresentou uma generalização do método, na qual os caracteres secundários são também incluídos.

Em outro tipo de índice com restrição, ganhos podem ser maximizados em caracteres de importância mas que por alguma razão, não são incluídos no índice. Esse tipo de restrição denominada de Binet (BINET 1965; JAMES 1968) poderia ser usado, por exemplo, para volume, para o qual se requer o máximo de ganho, enquanto que DAP e altura apresentam mensurações mais precisas. COTTERILL & JACKSON (1981) aplicaram com sucesso a restrição de Binet para ganho em volume, avaliando-se diâmetro. Segundo COTTERILL et al. (1989), a restrição de Binet pode também ser muito útil na seleção precoce em caracteres juvenis, visando ganhos nos mesmos caracteres na idade adulta.

Este estudo permitiu verificar a viabilidade de utilização de índices de seleção no melhoramento de eucalipto. BRIDGWATER & SQUILLACE (1986) relatam a importância dos índices de seleção no melhoramento florestal. Esses autores discutem métodos, vantagens e problemas relativos a índices de seleção, concluindo que os melhoristas florestais devem utilizá-los. COTTERILL et al. (1989) relatam a utilização de índices combinados, os quais possibilitam a combinação de informações a nível familiar e individual das várias características consideradas, visando à seleção de indivíduos superiores.

O processo de cálculo para índices combinados é similar ao descrito para seleção de progênies, bastando considerar também os parâmetros genéticos (variâncias e covariâncias) a nível de indivíduo, os quais permitem estimar os coeficientes  $b$  associados aos valores fenotípicos de cada indivíduo.

A utilização de índices pode ser vantajosa em todas as situações. Com características não correlacionadas ou correlacionadas positivamente o índice permite ganho máximo no valor genético global e bons ganhos em caracteres individuais.

Com características negativamente correlacionadas e em outras situações, restrições podem ser impostas visando direcionar a resposta à seleção. Quanto ao número de caracteres a serem incluídos em um índice, deve-se encontrar um que conduza a ganhos satisfatórios em todos os caracteres nele incluídos, já que com o aumento do número de caracteres sob seleção, há redução no progresso genético possível em cada um. O processo de incorporação de caracteres, progressivamente, ao índice e a quantificação dos ganhos em cada caráter podem auxiliar a determinação do índice ideal, quanto ao número de caracteres. Segundo COCHRAN (1951), um excessivo número de caracteres analisados contribui também para o aumento da influência de erros na estimativa dos coeficientes do índice.

#### **4. CONCLUSÕES**

- O emprego de índices de seleção no melhoramento de eucalipto, em populações com estruturas semelhantes à da estudada, deve aumentar a eficiência do processo seletivo.

- A utilização de índices com restrições é um procedimento desejável na seleção de características correlacionadas negativamente, pois permite evitar alterações desfavoráveis em caracteres economicamente importantes.
- A seleção através de índices é muito promissora para o melhoramento de eucalipto, exigindo entretanto, a estimação de uma série de parâmetros, índices e progressos com seleção, para permitir ao melhorista a escolha de um índice adequado para cada situação.

## 5. REFERÊNCIAS

- BECKER, W.A. **Manual of quantitative genetics**. Pulman, Washington State University, 1975.190p.
- BINET, F.E. On the construction of an index for indirect selection. **Biometrics**, Raleigh, **21**:291-299, 1965.
- BRIDGWATER, F.E. & SQUILLACE, A.E. Selection index for forest trees. In: WORKSHOP ON ADVANCED GENERATION BREEDING, Baton Rouge, 1984. **Proceedings...** Baton Rouge, Louisiana Agricultural Experiment Station, 1986. p.17-20.
- COCHRAN, W.G. Improvement by means of selection. BARKELEY SYMP. ON MATH. STATIST. AND PROB., 2., 1951. **Proceedings**. p.449-70.
- COTTERILL, P.P. On index selection. II. Simple indices which require no genetic parameters or special expertise to construct. **Silvae Genetica**, Frankfurt, **34**:64-69, 1985.
- COTTERILL, P.P. Genetic gains expected from alternative breeding strategies including simple low cost options. **Silvae Genetica**, Frankfurt, **35**:212-223, 1986.
- COTTERILL, P.P. & JACKSON, N. Short note: Index selection with restrictions in tree breeding. **Silvae Genetica**, Frankfurt, **30**:106-108, 1981.
- COTTERILL, P.P.; DEAN, C.A. & JACKSON, N. **Handbook of applied index selection**. Canberra,CSIRO, 1989.138P.
- CUNNINGHAM, E.P.; MOEN, R.A. & GJEDREM, T. Restriction of selection indexes. **Biometrics**, Raleigh, **26**: 67-74, 1970.
- HAZEL, L.V. The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, **28**:476-490, 1943.
- HAZEL, L.N. & LUSH, J.L. The efficiency of three methods of selection. **J. Hered**, **33**:393-399, 1942.
- JAMES, J.W. Index selection with restrictions. **Biometrics**, Raleigh, **24**: 1015-18, 1968.
- KEMPTHORNE, O. **An introduction to genetic statistics**. New York, J.Wiley, 1957. 545p.
- KEMPTHORNE, O. & NORDSKOG, A.W. Restricted selection indexes. **Biometrics**, Raleigh, **15**:10-19, 1959.

- LIN, C.V. Index selection for genetic improvement of quantitative characteres. **Theor. Appl. Genet.**, **52**:49-56, 1978.
- ROBINSON, H.F.; COMSTOCK, R.E. & HARVEY, P.H. Genotypic and phenotypic correlations in corn and their implications in selection. **Agron. J.**, **43**:282-7, 1951.
- SILVA, R.G. **Métodos de genética quantitativa aplicados ao melhoramento animal**. Ribeirão Preto, Sociedade Brasileira de Genética, 1982. p.162.
- SMITH, H.F. A discriminant function for plant selection. **Ann Eugen**, London, **7**:240-250, 1936.
- TAI, G.C.G. Index selection with desired gains. **Crop. Sci.** Madison, **17**:181-3, 1977.
- TALLIS, G.W. A selection index for optimum genotype. **Biometrics**. Raleigh, **22**:120-2, 1962.
- TURNER, H.N. & YOUNG, S.S.Y. **Quantitative genetics in sheep breeding**. Ithaca, Cornell University Press. 1969. p.332.
- YOUNG, S.S.Y. A further examination of the relative efficiency of three methods of selection for genetic gains under less - restricted conditions. **Genet. Res.**, Canberra, **2**:106-121, 1961.