

ESTUDO DA ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE FENOTÍPICA DE PROGÊNIES DE *Eucalyptus grandis* VIA METODOLOGIA AMMI

Osmir José Lavoranti¹
Carlos Tadeu dos Santos Dias²
Roland Vencovsky³

RESUMO

Foram avaliadas a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica de 200 progênies de *Eucalyptus grandis* procedentes de 10 localidades australianas, selecionadas pelo Programa Nacional de Pesquisa Florestal – coordenado pela Embrapa Florestas, e implantadas em sete testes de procedência e progênies nas regiões sul e sudeste do Brasil. Os resultados indicaram comportamentos diferenciados dos materiais avaliados, sendo a interação genótipo x ambiente significativa ($p < 0,01$). O método AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) permitiu identificar as melhores combinações entre progênies e locais.

PALAVRAS-CHAVE: Eucalipto, interação.

¹ Estatístico, Técnico de Nível Superior da Embrapa Florestas / Doutorando em Estatística e Experimentação Agronômica na ESALQ/USP

² Engenheiro-agrônomo, Professor Doutor / Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP

³ Engenheiro-agrônomo, Professor Titular, Departamento de Genética da ESALQ/USP

ADAPTABILITY STUDY AND PHENOTYPIC STABILITY OF PROGENY OF *Eucalyptus grandis* VIA AMMI METHODOLOGY

ABSTRACT

In this work we evaluated the adaptability and phenotypic stability of 200 progenies of *Eucalyptus grandis* originated from 10 australian locations, selected by the National Program of Research – coordinated by Embrapa Florestas, and implanted in seven progeny trials in the south and southeast of Brazil. Results indicated differentiated behaviors of the materials, being the G x E interaction significant ($p\text{-value} < 0,01$). The AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) procedure allowed the identification of the best locations X progenies combinations.

KEY-WORDS: Eucalypt, interaction.

1. INTRODUÇÃO

Com a criação do PNP – Programa Nacional de Pesquisa Florestal, em 1978, a Embrapa assumiu a responsabilidade de desenvolver e coordenar pesquisas com espécies florestais no Brasil. Uma das primeiras tarefas desenvolvidas foi avaliar a rede experimental do PRODEPEF – Programa de Desenvolvimento da Pesquisa Florestal, estabelecido através do convênio FAO/IBDF/ BRA-45, constituída principalmente de ensaios de introdução de espécies e procedências de eucaliptos (Higa et al., 1995). O resultado deste estudo indicou a necessidade de desenvolver-se um programa de melhoramento de *Eucalyptus grandis*, devido às suas características silviculturais, propriedades tecnológicas de sua madeira e importância econômica.

A estratégia de melhoramento adotada baseou-se no conceito de multipopulações preconizada por Burdon & Namkoong (1983), que busca conciliar ganho genético e manutenção da base genética da população, para suportar os programas de melhoramentos nas gerações avançadas. Esses procedimentos têm apresentado ganhos de produtividade e qualidade florestais, assim como propiciado uma boa adaptação do germoplasma.

A seleção de genótipos com alta produtividade e qualidade tem sido o principal objetivo dos programas de melhoramento genético. Em sua grande maioria, por apresentarem a seleção em caracteres quantitativos suas expressões fenotípicas resultam não só dos efeitos genotípicos (G), mas também dos efeitos ambientais (E) e das interações genótipos x ambientes (G x E). Os atributos de superioridade desses caracteres são de difícil seleção, devido a complexidade da base genética do material experimental e a influência sofrida pelo efeito ambiental (Cruz, 1990).

A interação G x E é um componente da variação fenotípica resultante do comportamento diferenciado dos genótipos quando repetidos a mais de um ambiente. Sua magnitude na expressão fenotípica do caráter pode reduzir a correlação entre fenótipo e genótipo, inflacionando a variância genética e, por sua vez, parâmetros dependentes desta, como herdabilidade e ganho genético com a seleção.

Estudos sobre a adaptabilidade e a estabilidade fenotípica permitem particularizar os efeitos da interação G x E ao nível de genótipo e ambiente, identificando a contribuição relativa de cada um para a interação total. Inúmeras técnicas estatístico-genéticas têm sido desenvolvidas com o intuito de melhor quantificar este efeito, entretanto, as posições críticas dos estatísticos, que atuam em programas de melhoramento genético, referem-se a falta de uma análise criteriosa da estrutura da interação G x E. Tradicionalmente, a análise dessa estrutura é superficial, não detalhando os efeitos da complexidade da interação.

Atualmente, a metodologia AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis), que combina em um único modelo estatístico componentes aditivos para os efeitos principais, como genótipo e ambiente, e componentes multiplicativos para os efeitos da interação, propõe ser mais eficiente que a análise usual na interpretação e compreensão da interação G x E (Duarte & Vencovsky, 1999).

Assim, os objetivos do presente trabalho foram avaliar a estabilidade fenotípica e adaptabilidade de progênies de *Eucalyptus grandis*, procedentes da Austrália, para as regiões sul e sudeste do Brasil, via metodologia AMMI, bem como, orientar a estratégia do programa de melhoramento de segunda geração.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Em 1983, a Embrapa Florestas, através de um convênio estabelecido com a CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization) e sob o patrocínio do Banco Mundial BIRD colheu, na Austrália, sementes de 200 árvores de *Eucalyptus grandis*, dentre outras espécies. Este material englobou 10 procedências e um número de progênies que variou de 5 a 26 (Tabela 1).

Tabela 1. Localização das procedências de *Eucalyptus grandis* coletadas na Austrália.

Nº DO LOTE	PROCEDÊNCIA	Nº DE PROGÊNIES	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
			LAT. (S)	LONG. (E)	ALT. (m)
14.210	27 km SE of Ravenshoe-QLD	5	17°18´	145°25´	1100
14.392	20 km S. of Atherton-QLD	15	17°42´	145°28´	900
14.393	25-36 km SE of Mareeba-QLD	11	17°50´	145°33´	760
14.420	12 km S. of Ravenshoe-Mt Pandanus-QLD	20	17°06´	145°38´	1020
14.423	Baldy State Forest 194-Atherton-QLD	25	17°25´	145°27´	950
14.431	Bellthorpe St. Forest-QLD	25	26°44´	152°39´	650
14.436	Kenilworth St. Forest-QLD	23	26°52´	152°42´	500
14.509	Yabbra S.F. Urbenville-NSW	25	30°13´	152°46´	640
14.510	Wild Cattle Creek S.F. - Dorrigo-NSW	26	28°34´	152°34´	525
14.519	Knorrit S.F. -Mt. George-NSW	25	31°50´	152°01´	230

Através de parcerias com empresas florestais privadas foram estabelecidos sete testes combinados de procedência e progênie nas regiões sul e sudeste do Brasil (Tabela 2). O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados de famílias compactadas (compact family block), com 6 plantas por parcelas e 10 repetições, no espaçamento de 3,0 m por 2,0 m.

Tabela 2. Localização dos testes de procedência e progênie de *Eucalyptus grandis* implantados no Brasil.

LOCAIS	MUNICÍPIO/ESTADO	REGIÃO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		
			LAT. (S)	LONG. (W)	ALT. (m)
1	Barra Ribeiro – RS	Sul	30°20′	51°14′	30
2	Telêmaco Borba - PR	Sul	24°15′	20°29′	850
3	Boa Esperança de Sul/ SP	Sudeste	21°57′	48°32′	540
4	Guanhães – MG	Sudeste	18°40′	42°60′	900
5	Ipatinga – MG	Sudeste	19°15′	42°20′	250
6	Aracruz – ES	Sudeste	19°48′	40°17′	50
7	Caçapava - SP	Sudeste	23°03′	45°46′	650

O clima das regiões experimentais, segundo a classificação de Köppen, temperaturas e precipitação pluviométrica anual, são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3. Condições climáticas das regiões experimentais.

LOCAIS	CLIMA	TEMPERATURAS (°C)					PRECIPITAÇÃO (mm)
		MÍNIMA MÊS	MÉDIA	MÁXIMA MÊS	MÉDIA	MÉDIA ANUAL	
1	Cfa	Jul	9	Jan	25	19	1400
2	Cfb	Jul	11	Fev	26	19	1480
3	Cwa	Jun	15	Nov	23	21	1300
4	Cwa	Jun	14	Out	24	19	1600
5	Cwa	Jun	15	Out	24	22	1250
6	Cwa	Jun	15	Set	26	24	1360
7	Cwa	Jul	14	Jan	24	20	1260

Para efeito de adubação, as repetições foram subdivididas em dois grupos iguais. Os blocos iniciais receberam adubação normal dos plantios comerciais realizados pela empresa (Tabela 4). Os blocos restantes receberam uma adubação

padronizada de 200g por planta de NPK 10:20:10 aplicado numa coroa de 15 a 20 cm distante do colo da muda e incorporado. As características do solo na área experimental são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4. Condições ambientais do local do ensaio, preparo e adubação do solo, pela empresa.

LOCAIS	CARACTERIZAÇÃO	OCUPAÇÃO ANTERIOR	ADUBAÇÃO DA EMPRESA
1	Neossolo Flúvico Tb distrófico, relevo suave. O preparo do solo foi realizado com arado reformador.	Agricultura	135g de NPK 10:20:10 por planta no plantio.
2	Latossolo amarelo distrófico típico, relevo ondulado. O solo recebeu duas gradagens antes do plantio.	Eucalipto	100g de NPK 6:14:3 por planta no plantio.
3	Latossolo amarelo distrófico psamítico, relevo suave. O preparo do solo foi realizado com arado reformador (camalhão sobre a linha de tocos).	Eucalipto	120g de NPK 6:30:6 por planta, no Plantio e 50g de NPK 12:6:12 mais 10g de FTE BR 9, 90 dias após Plantio.
4	Latossolo vermelho amarelo, distrófico, típico, relevo ondulado. O solo foi preparado com gradagem pesada e gradagem leve.	Mata secundária, vegetação original subperenifolia	100g de NPK 8:28:6 por planta no plantio.
5	Argissolo vermelho amarelo, distrófico típico, relevo ondulado. O solo foi preparado com gradagem pesada e gradagem leve.	Pastagem	100g de NPK 8:28:6 por planta no plantio.
6	Neossolo quartizarênico órtico típico, relevo suave ondulado. O preparo do solo foi realizado com arado reformador e gradagem leve.	Floresta Tropical Atlântica	100g de NPK 10:20:10 por planta no plantio.
7	Argissolo vermelho amarelo, distrófico típico, relevo ondulado. O solo foi preparado com gradagem pesada e gradagem leve.	Pastagem	175g de NPK 10:20:10 por planta no plantio.

As progênies foram avaliadas pela medição da altura média por parcela, aos cinco anos de idade. As análises de estabilidade e adaptabilidade foram feitas via metodologia AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis), com base na análise multivariada por componentes principais (Zobel et al., 1988).

A análise AMMI combina, num único modelo estatístico, componentes aditivos para os efeitos principais de genótipos (g_i) e de locais (e_j), e componentes multiplicativos para o efeito da interação $(ge)_{ij}$. A resposta média de um genótipo i num local j é dada por:

$$Y_{ij} = \mathbf{m} + g_i + e_j + \sum_{k=1}^p \mathbf{l}_k \mathbf{g}_{ik} \mathbf{a}_{jk} + \mathbf{r}_{ij} + \mathbf{e}_{ij}$$

com $(ge)_{ij}$ modelado por $\sum_{k=1}^p \mathbf{l}_k \mathbf{g}_{ik} \mathbf{a}_{jk} + \mathbf{r}_{ij}$. Sob as restrições de identificabilidade $\sum_{i=1}^g g_i = \sum_{j=1}^e e_j = \sum_{i=1}^g (ge)_{ij} = \sum_{j=1}^e (ge)_{ij} = 0$ (restrições paramétricas), sendo, além dos termos já definidos anteriormente:

\mathbf{m} : média geral;

\mathbf{l}_k : raiz quadrada do k -ésimo autovalor das matrizes $(\mathbf{GE})(\mathbf{GE})'$ e $(\mathbf{GE})'(\mathbf{GE})$ de iguais autovalores não nulos (\mathbf{l}_k^2 é o k -ésimo autovalor; $\mathbf{GE} = \left[\begin{matrix} \hat{g} \\ \hat{e} \end{matrix} \right]_{ij}$) matriz

de interações obtida como resíduo do ajuste aos efeitos principais, por ANOVA, aplicada à matriz de médias);

\mathbf{g}_{ik} : i -ésimo elemento (relacionado ao genótipo i) do k -ésimo autovalor de $(\mathbf{GE})(\mathbf{GE})'$ associado a \mathbf{l}_k^2 ;

\mathbf{a}_{jk} : j -ésimo elemento (relacionado ao local j) do k -ésimo autovalor $(\mathbf{GE})'(\mathbf{GE})$ associado a \mathbf{l}_k^2 ;

\mathbf{r}_{ij} : falta de ajuste do modelo de resposta média de um genótipo i num local j ;

\mathbf{e}_{ij} : erro experimental médio;

i : variação de genótipos, $i = (1, 2, \dots, g)$;

j : variação de locais, $j = (1, 2, \dots, 7)$ e

p : raízes características não nulas, $p = (1, 2, \dots, 6)$.

O termo $(ge)_{ij}$ (interação no modelo tradicional), na metodologia AMMI é representado pela soma de p parcelas, cada uma resultante da multiplicação de \mathbf{I}_k , expresso na mesma unidade de Y_{ij} , por um efeito genotípico (\mathbf{g}_{ik}) e um efeito

ambiental (\mathbf{a}_{jk}), ambos adimensionais, ou seja, $\sum_{k=1}^n \mathbf{I}_k \mathbf{g}_{ik} \mathbf{a}_{jk}$ (n : termos da

interação; n pode variar de 0, 1, ... $\min\{g-1, e-1\}$ e para $n = 0$, corresponde ao modelo sem interação (AMMI 0), $n = 1$ ao modelo com um efeito multiplicativo (AMMI 1), $n = 2$ ao modelo com dois efeitos multiplicativos e assim sucessivamente).

O termo \mathbf{I}_k traz uma informação relativa a interação G x E, na k -ésima parcela e os efeitos \mathbf{g}_{ik} e \mathbf{a}_{jk} representam os pesos do genótipo i e do local j , naquela parcela da interação \mathbf{I}_k .

A análise de variância foi esquematizada pelo quadro completo da análise conjunta, a partir de médias (Duarte & Vencovsky, 1999). O teste F utilizado foi

$$F_{R,n} = \left(SQ_{GxE} - \sum_{k=1}^n \mathbf{I}_k^2 \right) / f_2 QM_{Erromédio} \text{ com } f_2 = (g-1-n)(e-1-n)$$

que é um teste robusto para a escolha do modelo AMMI (Piepho, 1995). A estatística $F_{R,n}$ sob a hipótese nula de que não haja mais do que n termos determinando a interação, tem uma distribuição F aproximada com f_2 graus de liberdade e $GL_{\text{Erro médio}}$.

Pelos critérios adotados por Gauch & Zobel (1988), a definição do número de eixos a serem retidos para explicar o padrão relacionado à interação, levam em consideração a proporção da soma de quadrados da interação (SQ_{GXE}) acumulada

até o n -ésimo eixo $\left(\sum_{k=1}^n \mathbf{I}_k^2 / SQ_{GXE} \right)$. O ponto de parada que determina a seleção

do modelo (AMMI 0, AMMI 1, ..., AMMI 6) baseia-se na significância do teste $F_{R,n}$ para os sucessivos termos da interação.

A adaptabilidade, em termos da capacidade que um genótipo tem de aproveitar vantajosamente os efeitos ambientais, de maneira a assegurar alto nível de produtividade, foi predita em função das respostas para cada combinação de genótipos e ambientes, sobre o modelo AMMI selecionado pelo IPCA_k (eixo da interação da ACP - análise de componentes principais, conforme notação internacional) de acordo com o nível de significância de $F_{R,n}$. A expressão da

resposta esperada do genótipo i no ambiente j $\left(\hat{Y}_{ij} \right)$ é dada por:

$$\hat{Y}_{ij} = \bar{Y}_{i\cdot} + \bar{Y}_{\cdot j} - \bar{Y}_{\cdot\cdot} + \sum_{k=1}^n \mathbf{I}_k \mathbf{g}_{ik} \mathbf{a}_{jk} \quad (k = 1, 2, 3, 4, 5, 6)$$

em que: n é o número de eixos significativos para a decomposição da interação (G x E), com $n \leq 6$.

A estabilidade, que está relacionada com a manutenção da produtividade ou de sua previsibilidade com outros ambientes diversos, foi avaliada através da análise da magnitude e do sinal dos escores do biplot, correspondente ao modelo AMMI selecionado, sendo considerável estável aqueles genótipos e/ou ambientes cujos escores são considerados baixos (próximos de zero) que são próprios de genótipos e ambientes que contribuíram pouco ou quase nada para a interação (Duarte & Vencovsky, 1999).

Os resultados foram analisados pela representação gráfica em biplot, que é uma técnica bastante útil na análise de componentes principais, pois, o gráfico usado para representar, simultaneamente, as linhas e colunas referentes a uma matriz de dados, pode indicar a existência de agrupamentos entre as observações, assim como, mostrar as dispersões e correlações entre as variáveis.

Esta técnica foi introduzida por Gabriel (1971) e, é baseada no fato de que uma matriz de ordem maior que dois pode ser aproximada por uma matriz de ordem dois, onde cada elemento da matriz é representado pelo produto interno dos vetores correspondentes à sua linha e coluna. Dessa forma, qualquer matriz de n observações e p variáveis pode ser representada por um biplot. Ou seja, toda matriz $\mathbf{Y}_{(n \times p)}$ de ordem r pode ser fatorada como $\mathbf{Y} = \mathbf{GH}'$, em que \mathbf{G} é uma matriz $n \times r$ e \mathbf{H} uma matriz $p \times r$, ambas necessariamente de ordem r (Rao, 1965).

Uma maneira de fatorar \mathbf{Y} é escolhendo r colunas de \mathbf{G} como uma base ortogonal do espaço coluna de \mathbf{Y} , e calcular \mathbf{H} como $\mathbf{Y}'\mathbf{G}$ (\mathbf{G} ortogonal $\Rightarrow \mathbf{G}' = \mathbf{G}^{-1} \Rightarrow \mathbf{Y}' = \mathbf{HG}' \Rightarrow \mathbf{Y}'\mathbf{G}'^{-1} \Rightarrow \mathbf{Y}'\mathbf{G} = \mathbf{H}$).

Dessa forma, fatoração pode ser escrita como $y_{ij} = g_i' h_j$ para cada i, j , em que, $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, p$, e, y_{ij} é o elemento na i -ésima coluna de \mathbf{Y} , g_i' é a i -ésima linha de \mathbf{G} e h_j é a j -ésima coluna de \mathbf{H} . Ou seja, a fatoração associa cada um dos vetores $\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \dots, \mathbf{g}_n$ a cada uma das n linhas de \mathbf{Y} , e os vetores $\mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2, \dots, \mathbf{h}_p$ a cada uma das colunas de \mathbf{Y} . Cada um dos vetores tem ordem r e fornece a representação de \mathbf{Y} através de $n+p$ vetores no espaço r -dimensional. Os vetores $\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \dots, \mathbf{g}_n$ podem ser considerados como efeito de linha e os $\mathbf{h}_1, \mathbf{h}_2, \dots, \mathbf{h}_p$ os efeitos de coluna.

O gráfico denominado biplot baseia-se na aproximação DVS (decomposição por valores singulares) de uma matriz, por outra de posto inferior.

Na análise AMMI, a DVS é aplicada a uma matriz de desvios, a matriz de interações \mathbf{GE} de posto conhecido.

$$\hat{\mathbf{GE}}_{(gxe)} = \sum_{k=1}^n \mathbf{l}_k \mathbf{g}_k \mathbf{a}_k' = \tilde{\mathbf{U}} \tilde{\mathbf{S}} \tilde{\mathbf{V}}' \quad \text{em que,}$$

$\tilde{U}_{(gxn)}$ tem em suas colunas apenas os n primeiros vetores $\mathbf{g}_{(gx1)}$; $\tilde{S}_{(n)}$ é a matriz diagonal com os primeiros valores singulares \mathbf{I}_i e $\tilde{V}_{(nxe)}$ tem em suas primeiras linhas os n primeiros vetores de \mathbf{a}' .

De maneira esquemática, para a análise AMMI, tem-se a decomposição exata dada por $GE_{(gxe)} = USV' = U S^{1/2} S^{1/2} V' = GH'$ e a decomposição aproximada por

$$n \text{ componentes } \hat{GE}_{(gxe)} = \tilde{U} \tilde{S} \tilde{V}' = \tilde{G} \hat{H}' = \sum_{k=1}^n (\mathbf{I}_k^{1/2} \mathbf{g}_k^{1/2}) (\mathbf{g}_k^{1/2} \mathbf{a}_k')$$

sendo $\tilde{G}_{(gxn)}$ efeitos de genótipos e $\hat{H}'_{(nxe)}$ efeitos de locais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A proporção da SQ_{GXE} explicada, em função do modelo selecionado (AMMI 2, para a procedência 14.420 e AMMI 1 para as demais, significativos a nível de $p < 0,05$) (Tabela 5), foi de 66,4%, 39,0%, 45,4%, 55,1%, 41,7%, 39%, 38,6%, 39,5%, 42,1% e 37,9% para as procedências 14.210, 14.392, 14.393, 14.420, 14.423, 14.431, 14.436, 14.509, 14.510 e 14.519, respectivamente. A princípio, a representação gráfica em biplot desses resultados não se justificariam, devido à proporção relativamente baixa da SQ_{GXE} explicadas pelos primeiros eixos. Entretanto, teoricamente, a análise AMMI apresenta como característica principal a captação da maior parte do padrão devido a interação nos primeiros eixos; assim a avaliação gráfica pelo biplot torna-se válida. Resultados semelhantes a estes foram observados por Pereira & Costa, 1998 (44,6%), Flores et al., 1996 (57,6%), Crossa et al., 1991 (27,1%) e Crossa et al., 1990 (54,6%). Assim, para cada modelo AMMI selecionado, foram feitas as predições das respostas para cada combinação de genótipo e locais.

Tabela 5. Análise conjunta de variâncias, incluindo o desdobramento da interação G x E para o caráter altura de *Eucalyptus grandis* aos cinco anos, metros, por procedência.

SS/T_{R,n} soma de quadrados e nível de significância da estatística F_{R,n}²

IPCA_k eixo da interação da ACP (análise de componentes principais), conforme notação internacional (k = 1, 2, 3, 4, 5, 6);

** significativo ao nível de probabilidade, p < 0,01;

* significativo ao nível de probabilidade, p < 0,05;

ns não significativo.

A combinação de progênie e local mostrou boa adaptação, com resposta fortemente determinada pelo efeito da interação específica para:

	MUNICÍPIO/ESTADO						
	Barra Ribeiro (RS)	Telêmaco Borba (PR)	Boa Esperança do Sul (SP)	Guanhães (MG)	Ipatinga (MG)	Aracruz (ES)	Caçapava (SP)
Progênies com boa adaptação	234, 239, 279, 287, 663, 742, 746, 759, 846, 852		189, 191, 193, 293, 797	196, 234, 239	189, 191, 193, 204, 846, 852	189, 191, 193, 204, 797	

Por outro lado, devido aos componentes negativos da interação, verificou-se falta de adaptação para:

	MUNICÍPIO/ESTADO						
	Barra Ribeiro (RS)	Telêmaco Borba (PR)	Boa Esperança do Sul (SP)	Guanhães (MG)	Ipatinga (MG)	Aracruz (ES)	Caçapava (SP)
Progênies com falta de adaptação	184, 185, 195, 201, 302, 305	781		184, 185, 195, 201	280, 283, 308, 502, 527, 531, 680	502, 527, 531, 680	264, 264, 280, 283, 308, 680, 781, 850

Com base nos valores preditos para a adaptabilidade, verifica-se a possibilidade de restringir para quatro locais (Barra Ribeiro – RS, Boa Esperança do Sul – SP, Guanhães – MG e Aracruz – ES) a instalação de testes de segunda geração, pois estes contemplariam todas progênies com adaptações específicas. Ou para três (Barra Ribeiro – RS, Boa Esperança do Sul – SP e Aracruz – ES), desprezando a informação da progênie 196, e para apenas dois (Barra Ribeiro – RS e Aracruz – ES), desprezando também a informação da progênie 293.

Para a análise da estabilidade, deve-se observar (Figura 1) a magnitude e o sinal dos escores de progênies e locais para o eixo da interação ($IPCA_k$). Nota-se que, progênies com escores baixos, próximos de zero, contribuem pouco ou quase nada para a interação, e dessa forma, são considerados estáveis (Duarte & Vencovsky, 1999). A estabilidade é avaliada em função das ordenadas, sendo que para o primeiro eixo de interação – $IPCA_1$, os pontos próximos de zero correspondem as progênies e locais mais estáveis. O mesmo ocorre na avaliação das coordenadas do segundo eixo de interação – $IPCA_2$ (procedência 14.420).

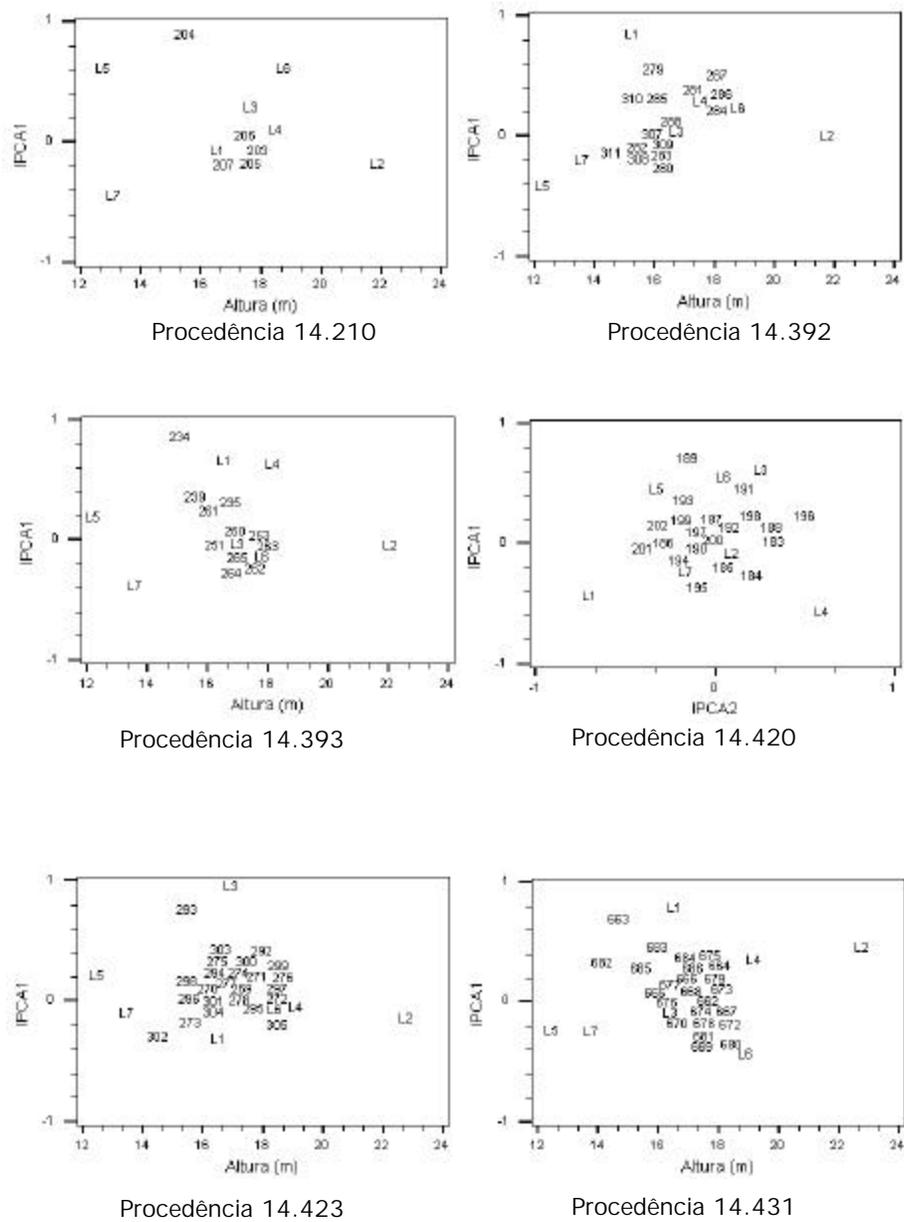


Fig. 1. Biplot AMMI, por procedência de *Eucalyptus grandis*, para o caráter altura aos 5 anos (cont.).

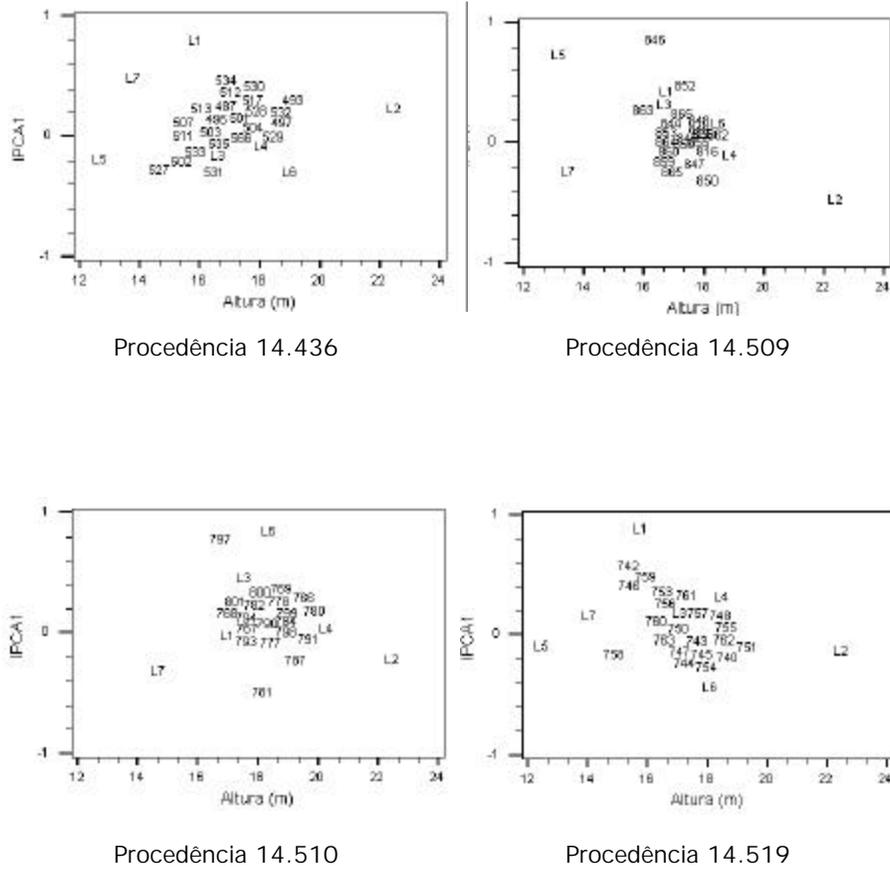


Fig. 1. Biplot AMMI, por procedência de *Eucalyptus grandis*, para o caráter altura aos 5 anos.

De acordo com os resultados obtidos, é possível relacionar como mais instáveis as seguintes progênies: 184, 185, 189, 191, 195, 196, 201, 204, 234, 239, 262, 264, 279, 283, 286, 287, 293, 302, 305, 308, 502, 527, 531, 663, 680, 742, 746, 759, 781, 797, 846, 850 e 852. Para as demais progênies (83,5% das progênies envolvidas no ensaio) a estabilidade avaliada é um indicativo de suas respectivas amplitudes adaptativas, ou seja, as progênies estáveis mostraram-se amplamente adaptadas aos locais dos testes. Entretanto, para fins de recomendação de cultivares, genótipos estáveis devem também apresentar alta produtividade, que é avaliada pelos efeitos principais (médias). Contudo, as estimativas via metodologia AMMI são tidas como mais precisas do que as próprias médias obtidas das repetições de cada genótipo em cada ambiente (Gauch, 1990, 1992).

A metodologia AMMI aqui utilizada, mostrou-se eficiente no estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de *Eucalyptus grandis*. Estes resultados reforçam a indicação dessa técnica para este tipo de trabalho (Lavoranti, 2000) e a coloca como ferramenta estatística extremamente útil, na indicação de genótipos com boa adaptação.

4. CONCLUSÃO

- O efeito da interação genótipo x ambientes mostrou-se significativo ao nível de $p < 0,01$ e a decomposição deste efeito via metodologia AMMI ao nível de $p < 0,05$, para todas as procedências, permitindo, dentro dos conceitos estabelecidos, identificar as estabilidades das progênies, assim como as adaptabilidades específicas;
- Pode-se restringir para quatro locais os testes de segunda geração (Barra Ribeiro – RS, Boa Esperança do Sul – SP, Gunhães – MG e Aracruz – ES), sem perder informações quanto à adaptabilidade específica. Ou reduzir para apenas dois locais (Barra Ribeiro – RS e Aracruz – ES), descartando duas progênies instáveis (196 e 293);

AGRADECIMENTOS

Os autores e a Embrapa Florestas agradecem as seguintes empresas: Aracruz Florestal S.A., Cenibra Florestal S.A., Florestamento Integrado S.A., Florin, Klabin do Paraná Agroflorestal S.A., Riocell Cia. Celulose do Sul (Florestal Guaíba) e Ripasa S.A. Celulose e Papel, pela valiosa colaboração na implantação e no acompanhamento dos testes de campo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURDON, A.; NAMKOONG, G. Short note: multiple populations and sublimes. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 32, n. 5/6, p. 221-224, 1983.

CROSSA, J.; FOX, P. N.; PFEIFER, W. H.; RAJARAM, S.; GAUCH, H. G. AMMI adjustment for statistical analysis of international wheat yield trial. **Theoretical and Applied of Genetics**, v. 81, p. 27-37, 1991.

CROSSA, J.; GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 3, p. 493-500, 1990.

CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

DUARTE, J. B.; VENCOVSKY, R. **Interação genótipo x ambiente**: uma introdução à análise "AMMI". Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9).

FLORES, F.; MORENO, M. T.; CUBERO, J. I. Genotype-environment interaction in faba bean: comparison of AMMI and principal coordinate models. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 47, p. 117-127, 1996.

GABRIEL, K. R. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 453-467, 1971.

GAUCH, H. G. Full and reduced models for yield trials. **Theoretical and Applied of Genetics**, v. 80, p. 153-160, 1990.

GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials**: AMMI analysis of factorial designs. New York: Elsevier Science, 1992. 278 p.

HIGA, A. R.; LAVORANTI, O. J.; KODAMA, A. S. **Seleção de procedências e árvores superiores de *Eucalyptus ssp.*** Colombo: Embrapa-CNPq, 1995. 4 p. EMBRAPA. Programa 08 – Floresta e Agrofloresta. Subprojeto 08.094.510.05.

LAVORANTI, O. J. **Adaptabilidade e estabilidade genética de *Eucalyptus grandis***: comparações de resultados: EBERHART e RUSSELL, 1966 e AMMI – additive main effects and multiplicative interaction analysis (CROSSA, 1990). Piracicaba, [s.n.], 2000. 70 p. Seminário apresentado à ESALQ para obtenção do título de Doutor. em Estatística e Experimentação Agronômica. Não publicado.

PEREIRA, A. S.; COSTA, M. D. Análise de estabilidade de produção de genótipos de batata no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 4, p. 405-409, 1998.

PIEPHO, H. P. Robustness of statistical test for multiplicative terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trial. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 90, p. 438-443, 1995.

RAO, C. R. **Linear statistical inference and its applications**. New York: J. Wiley, 1965. 320 p.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 388-393, 1988.