

**AVALIAÇÃO DO MÉTODO CENTRÓIDE PARA ESTUDO DE ADAPTABILIDADE AO  
AMBIENTE DE CLONES DE *Eucalyptus grandis***

**EVALUATION OF THE CENTROID METHOD FOR STUDY OF ENVIRONMENT ADAPTABILITY  
OF CLONES OF *Eucalyptus grandis***

Rodrigo Barros Rocha<sup>1</sup> Júpiter Israel Muro-Abad<sup>2</sup> Elza Fernandes Araújo<sup>3</sup> Cosme Damião Cruz<sup>4</sup>

**RESUMO**

A acentuada interação genótipo x ambiente presente em muitas culturas faz com que estudos de adaptabilidade a ambientes específicos sejam parte integrante dos programas de melhoramento vegetal. A resposta diferenciada dos genótipos a ambientes favoráveis e desfavoráveis pode ser estudada utilizando metodologias baseadas em três estratégias principais: análise de variância, regressão linear e em estatísticas não-paramétricas. Este trabalho apresenta uma nova metodologia para estudo de interação genótipo x ambiente que se baseia na comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos e quatro referências ideais em uma dispersão de componentes principais, visando a facilitar a recomendação de genótipos. Esse método, chamado de método centróide, difere em relação aos métodos baseados em análise de variância por permitir o direcionamento dos cultivares em relação à variação ambiental e pela facilidade de identificação dos genótipos, dispensando a análise simultânea de vários parâmetros como nos métodos baseados em regressão. Para exemplificar sua aplicação, foram avaliados 25 genótipos provenientes de testes clonais de *Eucalyptus grandis* aos 74 meses de idade plantados em quatro ambientes em modelo fatorial e delineamento em blocos ao acaso com seis repetições, sendo que os efeitos de genótipos foram considerados fixos e os efeitos de blocos e ambientes aleatórios. Foram identificados quatro clones de boa adaptabilidade geral além de outros de adaptação específica a grupo de ambientes que também podem ser recomendados visando a capitalizar o efeito da interação. Os resultados foram comparados com os obtidos pela metodologia de regressão proposta por Eberhart e Russel (1966) e pelo método proposto por Lin e Binns (1988) e permitem concluir que o método centróide foi eficiente na identificação dos clones de *Eucalyptus grandis* avaliados de comportamento diferenciado entre os ambientes; associado à facilidade de recomendação e ordenamento dos genótipos a grupos de adaptabilidade específicos.

**Palavras-chave:** interação genótipo ambiente; *Eucalyptus grandis*, estabilidade e adaptabilidade; componentes principais.

**ABSTRACT**

The intense genotype x environment interaction present in many cultures make studies of adaptability to specific environments an important part of vegetal improvement programs. The different response of genotypes to favorable and unfavorable environments can be studied using methodologies based on three main strategies: analysis of variance, linear regression and non-parametric statistics. This work presents a new methodology for the study of genotype environment interaction, using principal components analysis, in order to facilitate the recommendation of specific genotypes to certain environments. This methodology, called centroid method, consists in the comparison of cartesian distance values between the genotypes and four ideal references using principal components. It differs from methods based in analysis of variance due to the aiming of genotypes according to environment variation and the facility of genotype identification, dispensing the analysis of several parameters as in methods based on regression. In order to exemplify the use of this method an experiment of *Eucalyptus grandis* planted in random blocks design and

1. Engenheiro Florestal, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36571-000, Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. rbrgenetica@yahoo.com.br
2. Engenheiro Florestal, Dr., Engenheiro da Empresa Aracruz Celulose S.A., Av. Brigadeiro Faria Lima, 2277, 3º e 4º andares, Edifício Plaza Iguatemi, Bairro Jardim Paulistano, CEP 01452-000, São Paulo (SP). jupiter.muro@uol.com.br
3. Bióloga, Dr<sup>a</sup>., Professora Adjunta do Departamento de Microbiologia, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36571-000, Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. ezfa@ufv.br
4. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36571-000, Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. cdacruz@ufv.br

Recebido para publicação em 23/03/2005 e aceito em 28/08/2005.

four environments was studied. Four clones of general adaptability were identified besides others of specific adaptation that can also be recommended aiming to capitalize the interaction effect. The results of this study were compared with the ones obtained through other methodologies by Eberhart e Russel (1966) and by Lin and Binns (1988) and allows to conclude that the centroid method was efficient in the identification of differentiated performance *E. grandis* clones; associated to the easiness of recommendation and ordering of the genotypes into specific adaptability groups.

**Key words:** genotype environment interaction; *Eucalyptus grandis*; adaptability; principal components.

## INTRODUÇÃO

Em um contexto biológico evolutivo, o termo adaptação pode ser entendido como um processo, e o termo adaptabilidade como característica inerente ao indivíduo, relativo ao seu desempenho em um conjunto de ambientes (Ridley, 1997). Para o melhoramento de plantas, no entanto, esses dois termos referem-se a uma condição do indivíduo e não a um processo, que diz respeito à capacidade de resposta de um cultivar em face de um conjunto de ambientes. Nesse contexto, a resposta diferencial das plantas ou cultivares às alterações ambientais é assunto de grande relevância para programas de melhoramento de diferentes culturas.

A extensa área reflorestada com eucalipto no Brasil, cerca de 3 milhões de hectares, faz com que estudos da interação genótipo x ambiente sejam imprescindíveis para os programas de melhoramento florestal. Entre as espécies do gênero *Eucalyptus*, o *Eucalyptus grandis* se destaca como uma das principais fontes de matéria-prima para produção de papel e celulose e mais recentemente como madeira para serraria e também para produção de mel. A produção de mel de alta qualidade das florestas de eucalipto vem agregando mais valor as áreas reflorestadas e aos genótipos de florescimento precoce. O *Eucalyptus grandis* caracteriza-se pela qualidade satisfatória para produção de celulose de fibra curta, rápido crescimento e suscetibilidade ao cancro, causado pelo fungo *Cryphonectria cubensis*. Apesar disso, vários indivíduos com tolerância ao cancro e superiores em volume destacaram-se, os quais foram multiplicados para os plantios clonais de alta produtividade em diversos programas de melhoramento florestal (Rocha, 2005).

Muitos autores consideram que a avaliação de genótipos visando à identificação e recomendação de materiais superiores em diferentes ambientes como uma das etapas mais importantes de um programa de melhoramento (Nunes *et al.*, 2002, Farias *et al.*, 1997). A recomendação de plantas ou cultivares superiores normalmente é feita considerando duas estratégias principais: primeira, identificação dos genótipos de adaptabilidade geral visando à recomendação a conjunto de ambientes heterogêneos, segundo recomendação de indivíduos adaptados a ambientes específicos visando a capitalizar o efeito da interação. Existem disponíveis na literatura vários métodos para estudo e quantificação da interação genótipo x ambiente, entre os quais se destacam os métodos baseados na análise da variância (Plaisted e Peterson, 1959, Burdon, 1977), regressão linear simples (Finlay e Wilkinson, 1963; Eberhart e Russel, 1966) regressão linear múltipla (Verma *et al.*, 1978; Cruz, *et al.*, 1989) e os métodos não-paramétricos (Huenh, 1990; Lin e Binns, 1988). As metodologias baseadas em regressão são as mais utilizadas para estudos de estabilidade e adaptabilidade fenotípica, sobretudo pela simplicidade matemática e de interpretação biológica (Crossa, 1991, Lavoranti 2003).

Os métodos baseados em regressão relacionam as respostas individuais dos genótipos com o efeito do ambiente, que geralmente é estimado utilizando o índice ambiental associado tanto à regressão linear simples quanto à regressão linear bissegmentada (Cruz e Regazzi, 1994). Como desvantagens desses métodos, destacam-se: o número mínimo de ambientes para análise, três ambientes para os métodos que utilizam regressão linear simples e seis para os que utilizam regressão linear bissegmentada, o maior número de parâmetros que devem ser simultaneamente avaliados para a recomendação, e um problema de ordem estatística, de existência de dependência entre o índice ambiental utilizado para classificar os ambientes e a produtividade média do cultivar (Cruz, *et al.*, 1989).

Embora sejam rotineiramente utilizadas, no melhoramento de plantas, metodologias baseadas em componentes principais são ainda pouco exploradas para estudos da interação genótipo x ambiente. Essa metodologia, geralmente utilizada em estudos de diversidade genética com o intuito de redução da dimensionalidade contida nas variáveis originais (Alves, 2002, Cruz e Regazzi, 1994), é utilizada neste trabalho para representar a variação da performance dos genótipos nos ambientes em uma dispersão no plano com poucos eixos. Essa abordagem se destaca pela facilidade de interpretação dos resultados permitindo a

análise simultânea da performance de um número relativamente alto de genótipos.

Este trabalho propõe a utilização de método alternativo para o estudo da interação genótipo x ambiente em espécies vegetais, baseado em metodologia de análise multivariada utilizando componentes principais, que se caracteriza por associar as vantagens dessa metodologia a estudos da interação genótipo x ambiente. A utilização desse novo método, chamado de método centróide, consiste da comparação da resposta individual dos cultivares com a resposta de quatro cultivares ideais, de máxima ou mínima resposta em relação ao conjunto de dados avaliados.

Para exemplificar a utilização do método, foi avaliado um experimento de comparação entre clones comerciais de *Eucalyptus*, e os resultados foram comparados com os obtidos pela metodologia de regressão proposta por Eberhart e Russel, 1966 e pelo método proposto por Lin e Binns, 1988.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho, foi utilizada a técnica multivariada de componentes principais que permite a obtenção de um número reduzido de variáveis abstratas e independentes visando a representar em ordem de estimação o máximo da variação total contida nas variáveis originais. A sua principal característica é permitir a redução da dimensionalidade do conjunto de dados com mínima perda da informação (Cruz e Regazzi, 1994). O método proposto consiste em empregar a metodologia de componentes principais para representar a informação da performance diferencial dos genótipos diante das alterações ambientais e não com o objetivo de representar a divergência entre tratamentos como normalmente está técnica é empregada no melhoramento e em estudos de diversidade genética.

Com esse objetivo, o método, chamado de método centróide, consiste da comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos e quatro referências ideais (ideótipos), criados com base nos dados experimentais para representar os genótipos de máxima adaptabilidade geral, máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e os genótipos de mínima adaptabilidade. O ideótipo de máxima adaptabilidade geral é aquele que apresenta os valores máximos observados para todos os ambientes estudados (ideótipo I). Os ideótipos de máxima adaptabilidade específica são aqueles que apresentam máxima resposta em ambientes favoráveis e mínima resposta em ambientes desfavoráveis (ideótipo II) ou máxima resposta em ambientes desfavoráveis e mínima em ambientes favoráveis (ideótipo III). O ideótipo de mínima adaptabilidade é aquele que apresenta os menores valores observados em todos os ambientes estudados (ideótipo IV). Para utilização desse método, os ambientes foram classificados em favoráveis e desfavoráveis utilizando o índice ambiental como proposto por Finlay e Wilkinson (1963).

$$I_j = \frac{1}{g} \sum_i Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y_{..}$$

Em que:  $Y_{ij}$  : média do genótipo i, no ambiente j;  $Y_{..}$  : total das observações; a = número de ambientes; g = número de genótipos.

Após a classificação dos ambientes, foram criados pontos referenciais, os ideótipos de resposta diferenciada a ambientes favoráveis e desfavoráveis, visando à classificação dos outros pontos do gráfico considerando os valores de distância cartesiana entre os pontos a cada um dos quatro ideótipos. Uma medida de probabilidade espacial pode ser calculada utilizando o inverso da distância entre um tratamento aos quatro ideótipos.

$$P_{d(i,j)} = \frac{\left(\frac{1}{d_i}\right)}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Em que:  $P_{d(i,j)}$  = Probabilidade de apresentar padrão de estabilidade semelhante ao j-ésimo centróide;  $d_i$  = distância do i-ésimo ponto ao j-ésimo centróide.

Para avaliação da resposta diferencial dos genótipos, a metodologia de componentes principais foi utilizada no conjunto de dados originais contendo a média dos g + 4 genótipos em cada ambiente como

descrito por Cruz e Regazzi, (1994).

Para exemplificar a aplicação desse método, foram avaliados 25 genótipos provenientes de testes clonais de *Eucalyptus grandis* plantados em quatro ambientes em modelo fatorial e delineamento em blocos ao acaso com seis repetições, sendo que os efeitos de genótipos foram considerados fixos e os efeitos de blocos e ambientes aleatórios. Os testes clonais foram avaliados aos 74 meses de idade quanto ao crescimento em altura total (ALT), diâmetro na altura do peito (DAP), volume por indivíduo (VOL) e incremento médio anual (IMA). O volume e o incremento médio anual foram estimados utilizando as fórmulas:

$$VOLUME_{CC} = \frac{\pi(DAP)^2 \times f.f. \cdot X ALT}{40.000}$$

Em que:  $\pi = 3,1416$  e fator de forma  $f.f. = 0,5$

$$IMA = \frac{V}{T}$$

Em que  $V$  = volume;  $T$  = tempo em anos.

As análises foram realizadas no programa GENES (Cruz, 2001) disponível em <http://www.ufv.br/dbg/genes/gdown.htm>. Na Tabela 1, são apresentados os dados de procedências, tipo de solo, municípios, região, altitude, pluviosidade e coordenadas geográficas. Os resultados obtidos pelo método centróide também foram comparados com os obtidos por regressão linear, proposta por Eberhart e Russel, 1966 e pela metodologia não-paramétrica de Lin e Binns 1988. Para isso, a similaridades entre os métodos foram comparadas quanto ao ordenamento dos genótipos nos ambientes utilizando a correlação classificatória de Spearman (Steel e Torrie, 1980).

TABELA 1: Identificação dos testes clonais avaliados.

TABLE 1: Identification of the evaluated clonal tests.

Locais	Solo	Municípios	Região	Coordenadas UTM	Coordenadas UTM	Altitude	Pluviosidade
G01250A	LU2	Almeirim	Pacanari	322003 E Zona 22 sul	9932318 N Zona 22 sul	102 m	2.306
G01250C	LA3.1	Almeirim	Estrada Nova	284646 E Zona 22 sul	9889119 N Zona 22 sul	95 m	2.533
G01250E	LA3.1	Almeirim	São Miguel	298246 E Zona 22 sul	9900529 N Zona 22 sul	89 m	2.306
G01250I	CB	Almeirim	São Miguel	298246 E Zona 22 sul	9900529 N Zona 22 sul	117 m	2.306

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os coeficientes de variação observados para as características estudadas foram de 10,68 para altura, 12,31 para D.A.P., 32,36 para volume por indivíduo e 35,94 para I.M.A. Os coeficientes de variação encontrados são considerados de valores baixos ou médios e indicam uma boa precisão experimental (Garcia, 1989, Scapim *et al.*, 1995). A análise de variância conjunta revelou a existência de variância genética significativa entre os clones para as quatro características, pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 2). A análise de variância conjunta indica diferença significativa entre os ambientes avaliados e existência de interação genótipo ambiente pelo teste F a 1% de probabilidade para as quatro características avaliadas. A existência da interação genótipo ambiente é, a princípio, condição necessária para este estudo e indica que os genótipos podem apresentar desempenho diferenciado nos ambientes avaliados.

TABELA 2: Análise de variância de experimento fatorial em quatro ambientes para as características: altura total (ALT), diâmetro à altura do peito (DAP), volume total (VOL) e incremento médio anual (IMA) em famílias de meios irmãos de *Eucalyptus grandis*.

TABLE 2: Variance analysis of the factorial experiment in four environments for the characteristics: total height, diameter at breast height, total volume and annual increment of *Eucalyptus grandis* half sib families.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios			
		ALT	DAP	VOL	IMA
Blocos/Ambiente	20	6,3236	3,7813	0,0051	142,1807
Genótipo	24	130,0587**	73,9442**	0,0946**	3073,4909**
Ambiente	3	656,8927**	272,5018**	0,9781**	21791,8326**
Genótipo x Ambiente	72	15,9417**	8,8532**	0,0150**	420,1802**
Resíduo	480	5,4670	3,3389	0,0050	156,8799
Média		21,8914	14,8489	0,2176	34,8505
CV <sub>exp</sub>		10,6807	12,3057	32,3452	35,9397

Em que: \*\* = significativo a 1%.

As estimativas do componente quadrático genotípico e dos componentes de variância da interação genótipo x ambiente e da variância residual estão apresentadas no Tabela 3. Percebe-se que o efeito da interação genótipo x ambiente é, em geral, menor do que os valores dos componentes quadráticos genotípicos, e que o efeito da variação residual é relativamente alto comparado aos outros componentes. A constatação de efeitos significativos para genótipos, ambientes e interação genótipo x ambiente indica comportamento inconsistente e diferenciado entre genótipos nos ambientes. Vários estudos têm relatado a existência e discutido a importância do estudo da interação genótipo x ambiente em essências florestais (Nunes *et al.*, 2002, Filho *et al.*, 2001) e na maioria dos trabalhos os autores utilizam para recomendação metodologias que permitam identificar os indivíduos de melhor adaptabilidade e maior estabilidade fenotípica. O conceito de adaptabilidade e estabilidade utilizado no método centróide diferencia dos demais uma vez que o genótipo de máxima adaptação específica não é aquele que apresenta bom desempenho nos grupos de ambientes favoráveis ou desfavoráveis, mas sim o genótipo que apresenta valores máximos para determinado grupo de ambientes (favoráveis e desfavoráveis) e mínimo para o outro conjunto.

TABELA 3: Estimativas dos parâmetros genéticos e ambientais de experimento fatorial em três ambientes em famílias de meios irmãos de *Eucalyptus grandis*.

TABLE 3: Parameter estimates of factorial experiment of *Eucalyptus grandis* half sib families planted in three environments.

Estimativas de Parâmetros	ALT	DAP	VOL	IMA
$\phi_g^2$	4,7549	2,7121	0,0033	110,5546
$\hat{\sigma}_{ga}^2$	1,6760	0,8823	0,0016	42,1281
$\hat{\sigma}^2$	5,4670	3,3389	0,0050	156,8799

Em que:  $\phi_g^2$  = componente quadrático genotípico;  $\hat{\sigma}_{ga}^2$  = variância da interação genótipo ambiente;  $\hat{\sigma}^2$  = variância residual; ALT = altura total; DAP = diâmetro à altura do peito; VOL = volume por indivíduo; IMA = incremento médio anual.

Após a classificação dos ambientes em favoráveis e desfavoráveis, os ideótipos criados com base nos dados originais são acrescidos na análise (Tabela 4). Uma vez estabelecidos os valores médios de cada ideótipo utiliza-se a análise de componentes principais envolvendo os g genótipos iniciais e quatro outros representativos que na análise gráfica representaram os quatro centróides em torno dos quais será avaliada a dispersão dos demais. A obtenção dos autovalores, via metodologia de componentes principais partindo dos dados originais incluídos os ideótipos, mostra que apenas dois componentes principais são suficientes para explicar proporções próximas ou superiores que 80% da variação total contida nos dados originais;

estimativa essa considerada razoável (Tabela 5). Uma vez constatada a suficiência de dois autovalores na representação da variação total, é possível avaliar a posição dos genótipos em um gráfico bidimensional (Figuras 1 e 2).

TABELA 4: Classificação dos ambientes utilizando o índice ambiental e estabelecimento do ideótipos.

TABLE 4: Classification of the environments and development of the ideal genotypes.

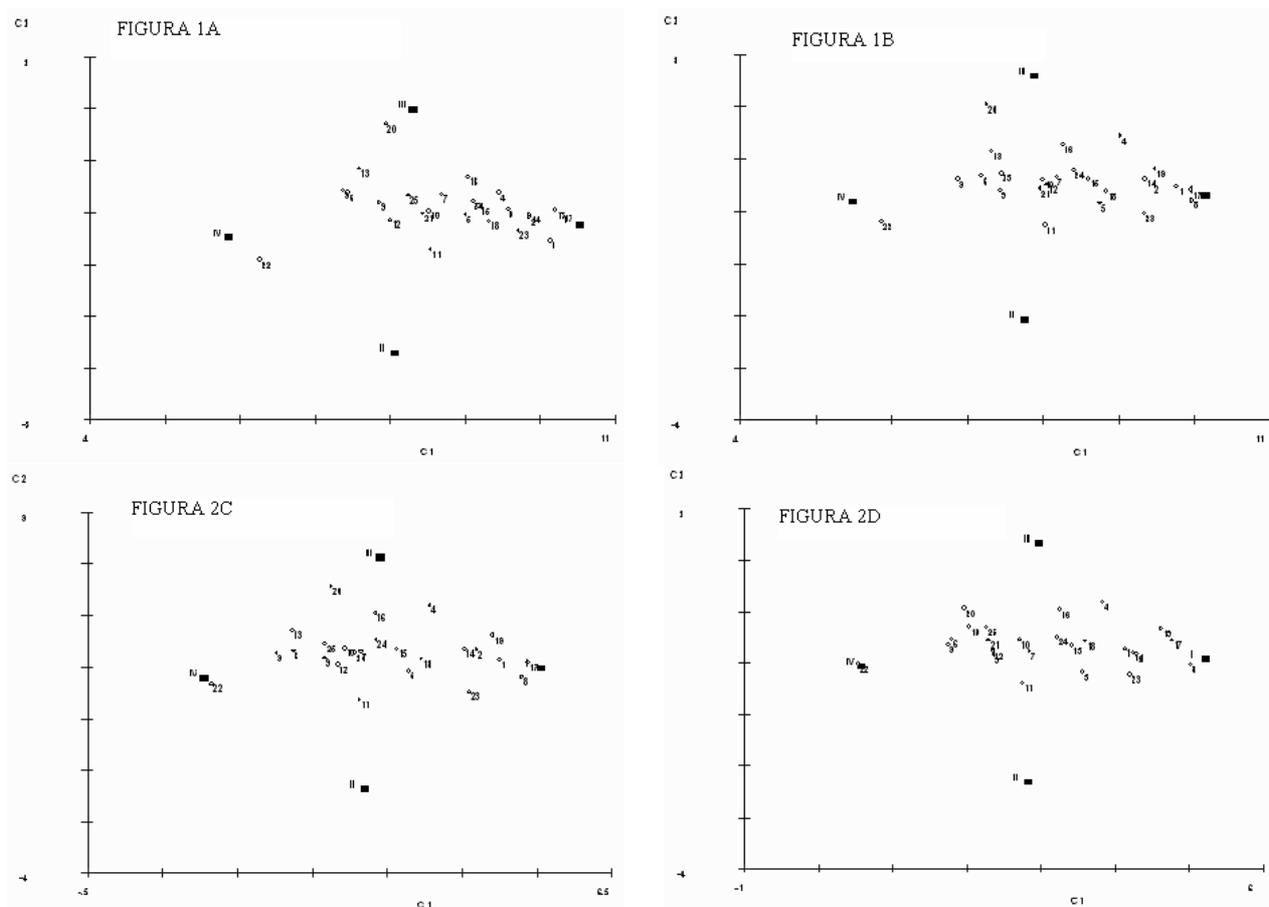
Ambientes	Média	Ij	Máximo	Mínimo	Ideótipo I	Ideótipo II	Ideótipo III	Ideótipo IV
ALT								
1	22,93	10,40	27,70	17,13	27,70	27,70	17,13	17,13
2	20,92	-0,98	24,58	11,54	24,58	11,54	24,58	11,54
3	19,50	-23,88	23,32	15,95	23,32	15,95	23,32	15,95
4	24,22	23,24	27,93	14,93	27,93	27,93	14,93	14,93
DAP								
1	15,42	0,57	19,42	10,35	19,42	19,42	10,35	10,35
2	14,72	-0,13	17,20	9,32	17,20	9,32	17,20	9,32
3	13,05	-18,04	15,62	9,92	15,62	9,92	15,62	9,92
4	16,21	13,60	19,35	9,43	19,35	19,35	9,43	9,43
VOL								
1	0,26	0,04	0,45	0,10	0,45	0,45	0,10	0,10
2	0,18	-0,04	0,26	0,04	0,26	0,04	0,26	0,04
3	0,13	-0,09	0,20	0,06	0,20	0,06	0,20	0,06
4	0,31	0,09	0,44	0,06	0,44	0,44	0,06	0,06
IMA								
1	41,48	66,26	76,52	8,15	76,52	76,52	8,15	8,15
2	29,28	-55,73	44,47	4,40	44,47	4,40	44,47	4,40
3	209,02	-139,49	32,92	10,40	32,92	10,40	32,92	10,40
4	477,47	128,96	74,62	7,78	74,62	74,62	7,78	7,78

Em que: Ideótipo I = Adaptabilidade geral (++); Ideótipo II = Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (+-); Ideótipo III = Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis(-+); Ideótipo IV = Pouco adaptado (--).

TABELA 5: Estimativas dos autovalores da técnica de componentes principais e fração cumulativa da variância explicada por estes.

TABLE 5: Eigenvalue estimates by main components analysis and the variance proportion explained by them.

Estimativas dos autovalores (ALT)			Estimativas dos autovalores (DAP)		
Raiz	Raiz (%)	% Acumulada	Raiz	Raiz (%)	% Acumulada
2,5433	63,5832	63,58	2,6015	65,0380	65,04
0,9492	23,7305	87,31	0,9727	24,3176	89,36
0,3992	9,9792	97,29	0,3242	8,1048	97,46
0,1083	2,7071	100	0,1016	2,5399	100
Estimativas dos autovalores (VOL)			Estimativas dos autovalores (IMA)		
Raiz	Raiz (%)	% Acumulada	Raiz	Raiz (%)	% Acumulada
2,6044	65,1090	65,11	2,7048	67,6199	67,62
0,9546	23,8641	88,97	0,9537	23,8427	91,46
0,3111	7,7761	96,75	0,2325	5,8126	97,28
0,1300	3,2506	100	0,1090	2,7247	100



FIGURAS 1 e 2: Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais de 25 genótipos da resposta das variáveis: Altura (1-A) e D.A.P. (1-B) Volume (2-C) e I.M.A. (2-D) em quatro ambientes. Os quatro pontos numerados com algarismos romanos representam os centróides: I – adaptabilidade geral, II – adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, III – adaptabilidade específica a ambiente desfavoráveis, IV – baixa adaptabilidade.

FIGURES 1 and 2: Main components graphic dispersion of the 25 genotypes for the characteristics: total height (1-A), diameter at breast height (1-B), total volume (2-C) and annual increment (2-D) of *E. grandis* half sib families in four environments. The squares shows the four centroids: I- broad adaptability, II – specific adaptability to favorable environments, III- specific adaptability to unfavorable environments, IV – narrow adaptability.

A alocação dos centróides no gráfico deve variar conforme os dados avaliados, o que faz com que a divisão do plano em quadrantes como normalmente é feito em análises de componentes principais, seja dificultada. Nesse caso, o critério mais importante que se deve observar é a proximidade do genótipo a um dos quatro centróides. Observam-se pequenas alterações no posicionamento dos centróides para as características avaliadas neste estudo, no entanto, o seu posicionamento pode variar drasticamente em função da amplitude e variação dos dados originais (dados não-mostrados).

A análise visual do gráfico de componentes principais permite avaliar que os genótipos apresentam distribuição bem heterogênea para as quatro características avaliadas, e que existem pontos de maior proximidade a todos os quatro centróides, possibilitando ao melhorista investir tanto na recomendação de genótipos de adaptabilidade geral a um conjunto de ambientes ou na recomendação de genótipos de adaptabilidade específica a um subgrupo de ambientes (Carvalho *et al.*, 2002). Em geral, recomenda-se que sejam avaliados por esse método apenas os experimentos que apresentaram uma condução experimental satisfatória. Poucos são os métodos de estudo da interação genótipo x ambiente que não apresentam restrições quanto à homogeneidade de variâncias residuais e precisão experimental nos vários ambientes.

Visando a apresentar uma alternativa de análise para esta limitação, Carneiro (1998), sugere utilizar o método de Lin Binns tradicional ponderado pelos coeficientes de variação dos experimentos conduzidos em cada ambiente separadamente.

Dependendo da importância individual das características avaliadas para o programa de melhoramento, genótipos específicos como os clones 2, 14 e 23 poderiam ser recomendados para a característica altura, por exemplo. No entanto, também se observa que os clones 1, 8 e 17 apresentam superioridade em relação a todas as características avaliadas.

Além da ocorrência de genótipos de maior proximidade a um dos quatro ideótipos, observa-se a distribuição de pontos na região central do gráfico. Esses pontos apresentam menor semelhança com os ideótipos de comportamento desejado, e por isso sua classificação é menos precisa. Visando a facilitar a classificação dos genótipos, sugere-se a utilização do inverso do valor de distância entre um ponto aos quatro centróides como estimativa da confiabilidade de agrupamento dos genótipos. Dessa maneira, um ponto equidistante aos quatro pontos referenciais apresenta valores de probabilidade de 25% de pertencer a qualquer um dos grupos e, portanto, quanto mais o valor de probabilidade diferir de 25%, maior será a certeza em concluir o agrupamento do genótipo. Observa-se que valores de probabilidade próximos ou superiores a 50% indicam boa confiabilidade no agrupamento. A Tabela 6 apresenta a classificação dos genótipos a um dos quatro grupos e a probabilidade associada a sua classificação.

TABELA 6: Classificação dos genótipos em um dos quatro grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada a sua classificação.

TABLE 6: Genotypes classification using the centroid method and the probability associated with the classification.

ALT(1)							DAP(2)						
Genótipos	Média	Grupo.	Prob(I)	Prob(II)	Prob(III)	Prob(IV)	Genótipos	Média	Classif.	Prob(I)	Prob(II)	Prob(III)	Prob(IV)
1	244,33	I	0,60	0,17	0,13	0,10	1	16,93	I	0,64	0,16	0,11	0,09
2	238,88	I	0,51	0,17	0,19	0,13	2	162,88	I	0,45	0,19	0,20	0,15
3	190,54	IV	0,22	0,25	0,24	0,29	3	127,71	IV	0,21	0,25	0,24	0,30
4	245,29	I	0,57	0,16	0,16	0,11	4	16,60	I	0,47	0,19	0,20	0,13
5	226,71	I	0,40	0,26	0,19	0,15	5	16,15	I	0,45	0,27	0,15	0,13
6	192,42	IV	0,22	0,26	0,24	0,28	6	132,96	IV	0,23	0,26	0,23	0,28
7	211,67	I	0,30	0,24	0,25	0,21	7	144,13	I	0,30	0,26	0,23	0,21
8	233,92	I	0,49	0,19	0,19	0,13	8	172,17	I	0,67	0,14	0,10	0,09
9	188,54	IV	0,20	0,21	0,28	0,31	9	125,71	IV	0,18	0,21	0,27	0,34
10	215,96	I	0,32	0,26	0,22	0,20	10	14,48	I	0,30	0,27	0,22	0,21
11	215,09	II	0,29	0,36	0,17	0,18	11	144,19	II	0,27	0,39	0,16	0,18
12	20,60	I	0,26	0,26	0,24	0,24	12	145,79	I	0,30	0,24	0,25	0,21
13	194,79	III	0,23	0,23	0,27	0,27	13	131,71	IV	0,21	0,22	0,28	0,29
14	23,97	I	0,56	0,17	0,15	0,12	14	159,91	I	0,46	0,22	0,17	0,15
15	23,28	I	0,46	0,21	0,18	0,16	15	155,33	I	0,40	0,25	0,19	0,16
16	228,96	I	0,40	0,19	0,25	0,16	16	149,42	I	0,31	0,21	0,28	0,20
17	247,69	I	0,67	0,13	0,12	0,08	17	170,86	I	0,67	0,14	0,10	0,09
18	231,54	I	0,44	0,20	0,20	0,16	18	160,58	I	0,45	0,21	0,18	0,16
19	24,83	I	0,68	0,12	0,11	0,09	19	164,96	I	0,53	0,20	0,15	0,12
20	200,92	III	0,25	0,20	0,32	0,23	20	125,96	IV	0,20	0,20	0,29	0,31
21	198,71	II	0,24	0,26	0,24	0,26	21	137,54	II	0,25	0,28	0,23	0,24
22	159,96	IV	0,10	0,13	0,14	0,63	22	105,53	IV	0,09	0,12	0,16	0,63
23	243,92	I	0,59	0,16	0,14	0,11	23	167,67	I	0,57	0,19	0,13	0,11
24	230,80	I	0,45	0,21	0,19	0,15	24	15,25	I	0,37	0,25	0,21	0,17
25	205,54	III	0,27	0,23	0,27	0,23	25	133,21	IV	0,22	0,23	0,27	0,28
VOL(3)							IMA(5)						
Genótipos	Média	Grupo.	Prob(I)	Prob(II)	Prob(III)	Prob(IV)	Genótipos	Média	Classif.	Prob(I)	Prob(II)	Prob(III)	Prob(IV)
1	0,31	I	0,61	0,21	0,09	0,09	1	474,54	I	0,49	0,26	0,14	0,11
2	0,27	I	0,38	0,24	0,21	0,17	2	440,29	I	0,39	0,25	0,19	0,17
3	0,15	IV	0,18	0,21	0,26	0,35	3	231,46	IV	0,18	0,20	0,27	0,35
4	0,27	I	0,36	0,24	0,22	0,18	4	460,33	I	0,38	0,24	0,20	0,18
5	0,27	I	0,38	0,33	0,15	0,14	5	38,83	I	0,33	0,31	0,18	0,18
6	0,17	IV	0,21	0,23	0,26	0,30	6	253,33	IV	0,20	0,22	0,26	0,32
7	0,19	IV	0,24	0,23	0,26	0,27	7	320,42	II	0,25	0,26	0,24	0,25
8	0,30	I	0,53	0,23	0,13	0,11	8	510,63	I	0,57	0,22	0,11	0,10
9	0,14	IV	0,15	0,16	0,29	0,40	9	224,38	IV	0,17	0,16	0,30	0,37
10	0,20	II	0,24	0,26	0,25	0,25	10	30,28	IV	0,24	0,24	0,25	0,27
11	0,22	II	0,28	0,38	0,17	0,17	11	357,66	II	0,29	0,36	0,17	0,18
12	0,19	IV	0,22	0,23	0,27	0,28	12	286,46	IV	0,21	0,21	0,28	0,30
13	0,15	IV	0,16	0,18	0,30	0,36	13	247,38	IV	0,18	0,19	0,29	0,33
14	0,26	I	0,39	0,26	0,18	0,17	14	440,88	I	0,42	0,27	0,16	0,15
15	0,24	I	0,33	0,29	0,20	0,18	15	401,33	I	0,34	0,29	0,19	0,18
16	0,21	III	0,24	0,21	0,30	0,25	16	33,80	III	0,24	0,20	0,31	0,25
17	0,31	I	0,65	0,18	0,09	0,08	17	509,77	I	0,60	0,20	0,10	0,10
18	0,26	I	0,37	0,26	0,20	0,17	18	398,04	I	0,32	0,24	0,24	0,20
19	0,29	I	0,51	0,24	0,13	0,12	19	505,42	I	0,54	0,23	0,12	0,11
20	0,15	III	0,18	0,18	0,33	0,31	20	217,38	IV	0,17	0,17	0,31	0,35
21	0,18	IV	0,22	0,23	0,27	0,28	21	238,17	IV	0,18	0,19	0,29	0,34
22	0,08	IV	0,05	0,05	0,11	0,79	22	82,92	IV	0,03	0,02	0,05	0,90
23	0,30	I	0,50	0,25	0,13	0,12	23	459,71	I	0,43	0,27	0,15	0,15
24	0,22	I	0,29	0,26	0,23	0,22	24	374,63	I	0,30	0,27	0,22	0,21
25	0,16	IV	0,19	0,19	0,30	0,32	25	248,54	IV	0,17	0,18	0,32	0,33

Em que: Classe I = Adaptabilidade geral (++); Classe II = Adaptabilidade específica a ambientes favoráveis (+-); Classe III = Adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis (-+); Classe IV = Pouco adaptado (--).

A Tabela 7 mostra a facilidade de análise e interpretação do fenômeno de adaptabilidade por meio da

metodologia apresentada que proporciona como resultado a classificação dos genótipos tornando a recomendação bastante simplificada. Assim a análise dos valores de probabilidade permite classificar os 25 clones em um dos quatro grupos sendo que os clones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 23, 24 foram classificados no mesmo grupo independente da característica considerada. Destacam-se os clones de adaptabilidade geral 1, 8, 17 e 19, adaptabilidade específica a ambientes favoráveis 11, adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis 20, e o clone de baixa adaptação 22. Os clones 7, 10, 12, 13, 16, 20, 21 e 25 apresentaram classificação diferenciada dependendo da característica considerada, e alguns clones são de difícil classificação, como os 7, 10, 21 e 25. Os pontos, no gráfico de classificação dificultada, são aqueles que se localizam no centro da dispersão, são aproximadamente equidistantes em relação aos quatro centróides e representam os genótipos de comportamento invariante e, portanto, diferenciados em relação aos ideótipos. No gráfico de dispersão, observa-se ainda tendência de aumento na média dos genótipos à medida que estes se aproximam do centróide I – adaptabilidade geral. Quanto menor for a diferença entre um genótipo qualquer e o ideótipo I, menor será a diferença entre este e a planta de máximo desempenho em todos os ambientes, fazendo com que a adaptabilidade geral esteja necessariamente associada ao melhor desempenho.

TABELA 7: Relação dos genótipos indicando sua classificação pelo método centróide em relação às quatro características avaliadas.

TABLE 7: Classification of the genotypes by the centroid method considering the four characteristics evaluated.

Genótipos	Altura	DAP	Volume	IMA
1	I	I	I	I
2	I	I	I	I
3	IV	IV	IV	IV
4	I	I	I	I
5	I	I	I	I
6	IV	IV	IV	IV
7	I	I	IV	II
8	I	I	I	I
9	IV	IV	IV	IV
10	I	I	II	IV
11	II	II	II	II
12	I	I	IV	IV
13	III	IV	IV	IV
14	I	I	I	I
15	I	I	I	I
16	I	I	III	III
17	I	I	I	I
18	I	I	I	I
19	I	I	I	I
20	III	IV	III	IV
21	II	II	IV	IV
22	IV	IV	IV	IV
23	I	I	I	I
24	I	I	I	I
25	III	IV	IV	IV

Os resultados da análise da interação G x A obtidos pelo método centróide foram comparados com os calculados pelo método proposto por Lin e Binns, 1988 e por Eberhart e Russel, 1966. Para isso, os genótipos ordenados por Lin e Binns foram classificados em um dos três grupos, segundo o melhor ordenamento considerando cada um dos  $P_i$ 's<sup>1</sup> (geral, favorável, desfavorável). Considerando que o ideótipo IV representa o grupo dos genótipos pouco adaptados, de nenhum interesse para recomendação e

<sup>1</sup> $P_i$  - parametro proposto por Lin Binns para quantificar a diferença entre o genótipo observado e o genótipo de maior valor para a característica em determinado conjunto de ambientes. Pode ser calculado considerando todos os ambientes, ou discriminando entre ambientes favoráveis e desfavoráveis.

praticamente não-contemplados nas outras metodologias, não foram comparadas as classificações referentes a esse grupo.

Os genótipos avaliados por regressão foram ordenados segundo o seguinte critério: I (adaptabilidade geral) – elevada média em todos os ambientes, II (adaptabilidade específica a ambientes favoráveis) – média elevada,  $\beta_1$  significativo, III (adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis) – elevada média,  $\beta_1$  não necessariamente significativo. Os valores de correlação entre as metodologias estão mostradas na Tabela 8.

TABELA 8: Valores da correlação classificatória de Spearman calculado entre os ordenamentos gerados pelas metodologias de regressão, centróide e não paramétrica de Lin Binns.

TABLE 8: Spearman correlation values calculated among the ranking produced by the methodologies of: regression, centroid and no parametric of Lin Binns.

Metodologias		R (Spearman)
Centróide X Lin Binns		
Altura		
Prob(I)	Pi Geral	0,9678
Prob(II)	Pi Fav	0,7125
Prob(III)	Pi Desfav	0,6428
DAP		
Prob(I)	Pi Geral	0,9643
Prob(II)	Pi Fav	0,4054
Prob(III)	Pi Desfav	0,6071
VOL		
Prob(I)	Pi Geral	0,9857
Prob(II)	Pi Fav	0,3678
Prob(III)	Pi Desfav	0,2089
IMA		
Prob(I)	Pi Geral	0,9796
Prob(II)	Pi Fav	0,5518
Prob(III)	Pi Desfav	0,6393
Centróide x Regressão		
Altura		
Prob(I)	Pi Geral	0,9357
Prob(II)	Pi Fav	0,65
Prob(III)	Pi Desfav	0,6393
DAP (diâmetro na altura do peito)		
Prob(I)	Pi Geral	0,6714
Prob(II)	Pi Fav	0,4928
Prob(III)	Pi Desfav	0,73
Volume		
Prob(I)	Pi Geral	0,6428
Prob(II)	Pi Fav	0,71
Prob(III)	Pi Desfav	0,78
IMA (incremento médio anual)		
Prob(I)	Pi Geral	0,9536
Prob(II)	Pi Fav	0,7017
Prob(III)	Pi Desfav	0,7642

Todos os genótipos apresentaram  $\delta_e^2$  não-significativos e valores de  $R^2$  superiores a 80%. Foram observados altos valores de correlação entre o ordenamento dos genótipos utilizando os valores de probabilidade I do método centróide com os obtidos pelos valores do Pi geral de Lin Binns e pela

metodologia de regressão visando à seleção dos genótipos de adaptabilidade geral.

O método centróide (ideótipo I) e de Linn e Binns apresentam filosofia semelhante para estudo da interação x genótipo ambiente, os dois métodos comparam as diferenças entre o comportamento dos genótipos nos diversos ambientes com ideótipos de resposta desejada, sendo que no método de Linn Binns é calculado o quadrado da diferença entre os genótipos avaliados e o ideótipo de máxima resposta nos ambientes favoráveis ou desfavoráveis ponderada por duas vezes o número de ambientes, e, no método centróides são considerados os valores lineares de distância na dispersão de componentes principais entre genótipos/ideótipos. Essa semelhança faz com que valores de correlação de alta magnitude como os observados entre o ordenamento dado por Linn Binns e pelo centróide (ideótipo I) sejam esperados.

No entanto, para os outros ideótipos II, III e IV não são esperados valores de correlação tão elevados uma vez que a filosofia do método centróide difere da tradicional considerando que os ideótipos de comportamento desejado são aqueles que apresentam máxima resposta em um grupo de ambientes (favorável ou desfavorável) e mínima em outro grupo. A não-subjetividade no ordenamento dado pelo método centróide associado à interpretação gráfica dos dados conferem ainda um diferencial dessa metodologia em relação a Lin Binns.

A subjetividade do ordenamento também é uma dificuldade associada à metodologia de regressão, função sobretudo do maior número de parâmetros que devem ser avaliados para recomendação ( $\beta_0, \beta_1, \beta_1 + \beta_2, \delta_{di}^2, R^2$ ). O alto valor de correlação observado entre a regressão e a probabilidade I do método centróide deve-se em especial à alta correlação entre adaptabilidade e melhor desempenho per si característica do método centróide. O valor de correlação de média magnitude observada entre probabilidade II e regressão é compatível com valores de comparação entre métodos mostrados na literatura (Farias *et al.*, 1997).

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que o método centróide, baseado na técnica multivariada de componentes principais, foi eficiente na identificação dos clones de *Eucalyptus grandis* avaliados de comportamento diferenciado entre os ambientes; associado à facilidade de recomendação e ordenamento dos genótipos a grupos de adaptabilidade específicos (adaptabilidade geral, adaptabilidade específica e pouco adaptados). Associado a não-subjetividade de ordenamento e a utilização de estimativas de probabilidade espacial que fornecem informação a respeito da confiabilidade da classificação dos genótipos, o método centróide diferencia-se dos demais métodos descritos na literatura e encontra-se disponível para utilização pelo melhorista vegetal. O método centróide está disponível ao conjunto de metodologias que os melhoristas utilizam para estudo da interação genótipo x ambiente e recomendação de genótipos, no entanto, recomenda-se que mais estudos sejam realizados visando melhor ponderar as vantagens e desvantagens desta metodologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R. M., **Caracterização genética de populações de cupuazeiro, *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng.) Schum., por marcadores microssatélites e descritores botânico-agronômicos.** 2002. 146p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.
- BURDON, R.D. Genetic correlation as a concept for studying genotype – environment interaction in forest tree breeding. *Silvae Genética*, v. 26, p. 168-175, 1977.
- FARIAS, F. J. C.; RAMALHO, M. A. P.; CAVALHO, L. P.; MOREIRA, J. A. N.; COSTA, J. N. C. Parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Binns (1988) comparados com o método de regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 4, p.1-9, 1997.
- CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento.** 1998. 168p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- CARVALHO, H.W.L.; SILVA, M.L.; CARDOSO, M.J.; SANTOS, M.X.; TABOSA, J.N.; CARVALHO, C.L.; LIRA, M. A. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no Nordeste brasileiro no triênio de 1998 a 2000. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, p. 1581-1588, 2002.
- CROSSA, J.; FOX, P.N.; PFEIFFER, W.H.; RAJARAM S.; GAUCH, H.G. AMMI adjustment for statistical analysis of an international wheat yield trial. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 81, n.1, p. 27-37, 1991.

- CRUZ, C.D. **Programa GENES** : aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: UFV, 2001. 542 p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1994. 390p.
- CRUZ, C.D.; TORRES, R.A.; VENCOVYSKY, R. Na alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, v. 12, p. 567-580. 1989.
- EBERHART, R.; RUSSEL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. **Crop Science**, v. 6, n. 1, p. 36-40, 1966.
- FILHO, E.P.; MORA, A.L.; MAESTRI, R. Interação de genótipos de *Pinus taeda* L. com locais no sul-sudeste do país. **Cerne**, v. 7 n. 1, p. 90-100, 2001.
- FINLAY, K.W., Wilkinson, G.N. The analysis of adaptation in a Plant-Breeding Programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 5, p. 742-754, 1963.
- GARCIA C.H. **Tabelas para coeficiente de variação**. S.l. : IPEF, 19\_\_\_. (Circular técnica, 171).
- HUEHN, M. Nonparametric measures of phenotypic stability. Part 1: Theory. **Euphytica**, v. 47, n. 3, p.189-194, 1990.
- LAVORANTI O.J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “bootstrap” no modelo AMMI**. 2003. 166p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003
- LIN, C.S.; BINNS M.R. A method for analyzing cultivar x location x years experiments: a new stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 76, n. 3, p. 425-430, 1988.
- 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.
- PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C., A technique for evaluation the ability of selection the yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, v. 36, n. 6, p. 381-385, 1959.
- RIDLEY, M. **Evolution**. 2. ed. Oxford : Blackwell Scientific, 1997, 719p.
- ROCHA, M.G.B. Predição de valores genéticos em progênies de meios-irmãos de *Eucalyptus grandis* e de *Eucalyptus urophylla* utilizando o procedimento REML/BLUP. 2005. 89p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- SCAPIM, C.A.; CARVALHO, C.G.P.; CRUZ, C.D. Uma proposta de classificação dos coeficientes de variação para a cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 5, p. 683-686, 1995.
- STEEL, R.G.D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics, a biometrical approach**. New York: MacGraw-Hill, 1980. 633p.
- VERMA, M.M.; CHAHAL, G.S.; MURTY, B.R. Limitations of conventional regression on analysis a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 53, p. 89-91, 1978.