

ADAPTABILIDADE DE HÍBRIDOS MULTIESPÉCIES DE EUCALYPTUS AO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL¹

Gleison Augusto Santos², Marcos Deon Vilela Resende³, Luciana Duque Silva⁴, Antônio Higa⁵ e Teotônio Francisco Assis⁶

RESUMO – Neste trabalho, objetivou-se estudar a adaptabilidade de híbridos multiespécies de *Eucalyptus* em quatro ambientes do Estado do Rio Grande do Sul. Os ensaios foram realizados nas áreas da empresa CMPC Celulose Riograndense, nos Municípios de Minas do Leão (Horto Florestal Cambará), Encruzilhada do Sul (Horto Florestal Capivara), Dom Feliciano (Horto Florestal Fortaleza) e Vila Nova do Sul (Horto Florestal São João). No ano 2007 foi implantada uma rede de testes clonais com 146 clones de *Eucalyptus*, pertencentes a 34 diferentes espécies e, ou híbridos, em delineamento de blocos ao acaso com 30 repetições e uma planta por parcela (Single Tree Plot). Aos 3 anos de idade, foram mensurados o diâmetro à altura do peito (dap) e a altura total (Ht) das árvores dos experimentos. O incremento médio anual (IMA) foi calculado de acordo com o volume individual por clone e o estande de plantas no hectare na idade de avaliação do teste clonal. Concluiu-se que em um programa de melhoramento do eucalipto a análise simultânea de produtividade, estabilidade e adaptabilidade deve ser preferida em relação ao simples ordenamento de valores genotípicos. Na seleção simultânea, destacaram-se entre os melhores materiais genéticos do ordenamento, híbridos do tipo “three-way cross”, formados por três diferentes espécies de *Eucalyptus*. Os híbridos mais promissores para a geração de clones superiores foram *E. urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), *E. grandis* x (*E. urophylla* x *E. grandis*), *E. saligna* x (*E. grandis* x *E. urophylla*) e *E. grandis* x *E. kirtoniana* (*E. robusta* x *E. tereticornis*) e *E. grandis* x *E. urophylla*.

Palavras chave: *Eucalyptus* spp.; Performance relativa; Ganhos preditos; Estabilidade; Clones.

ADAPTABILITY FOR EUCALYPTUS MULTI SPECIES HYBRIDS IN THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT – The objective of this study was to investigate the adaptability multi species hybrid of *Eucalyptus* in four environments in the state of Rio Grande do Sul. The tests were conducted in the areas of CMPC Celulose Riograndense in the municipalities of Minas do Leão (Cambará farm), Encruzilhada do Sul (Capivara farm), Dom Feliciano (Fortaleza farm) and Vila Nova do Sul (São João farm). A network of clonal tests was established in 2007 with 146 clones of *Eucalyptus*, belonging to 34 different species and, or hybrids, in a randomized block design with 30 replications in single tree plot). The diameter at breast height (dbh) and total height (Ht) of trees at three years of old were measured. The mean annual increment (MAI) was calculated according to the volume per individual clone and plant stand in hectare at the evaluation age of the clonal test. It was concluded that in a breeding program for *Eucalyptus*, the simultaneous analysis of productivity, stability and adaptability should be done rather than the simple ordering of genotypic values. “Three-way cross” Hybrid-type made up of three different species of *Eucalyptus* stood out among the best genetic materials in the simultaneous selection. The most promising hybrids for the generation of higher clones were *E. urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), *E. grandis* x (*E. urophylla* x *E. grandis*), *E. saligna* x (*E. grandis* x *E. urophylla*) and *E. grandis* x *E. kirtoniana* (*E. robusta* x *E. tereticornis*) and *E. grandis* x *E. urophylla*.

Keywords: *Eucalyptus* spp.; Predicted gains; Relative performance; Stability.

¹ Recebido em 08.12.2012 aceito para publicação em 06.08.2013.

² CMPC Celulose Riograndense, Guaíba, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: <gaugusto@cmpcrs.com.br>.

³ Embrapa Florestas, Colombo, PR, Brasil. E-mail: <marcos.deon@gmail.com>.

⁴ Universidade de São Paulo, Campus Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, Brasil. E-mail: <lucianaduques@yahoo.com.br>.

⁵ Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR - Brasil. E-mail: <antonio.higa@gmail.com>

⁶ AssisTech Tecnologia em Melhoramento, Nova Lima, Minas Gerais. E-mail: <assisteo@terra.com.br>.

1. INTRODUÇÃO

A produtividade e qualidade da madeira dos plantios florestais de *Eucalyptus* no Brasil tiveram aumento significativo em decorrência da produção de híbridos interespecíficos deste gênero, seguida da clonagem dos melhores indivíduos das progênes geradas. Segundo Assis e Mafia (2007), o binômio “hibridação e clonagem” tem colocado o Brasil em posição mundial de destaque na indústria florestal, principalmente no setor de celulose e papel, e também deverá ser responsável pelos avanços que acontecerão ao longo dos próximos anos.

Esses mesmos autores ressaltaram que a busca de complementaridade nas características tecnológicas da madeira e na tolerância a estresses bióticos e abióticos, bem como a manifestação de heterose verificada em vários cruzamentos híbridos, constitui os principais caminhos para se produzirem indivíduos superiores em crescimento, adaptação e qualidade da madeira. A clonagem torna possível a multiplicação em grande escala desses indivíduos. A floresta comercial assim formada é uniforme, com homogeneidade de características tecnológicas (SANTOS et al., 2006), podendo também ser resistente a pragas, doenças, déficit hídrico e geadas (SANTOS et al., 2012).

O Estado do Rio Grande do Sul é um dos locais no Brasil onde a hibridação mais se desenvolveu nos últimos anos, existindo relatos da produção, plantios experimentais e comerciais de híbridos de *E. urophylla* x *E. globulus*, *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. viminalis*, *E. urophylla* x *E. dunnii*, *E. grandis* x *E. dunnii* e *E. grandis* x *E. pellita*, (ASSIS, 2000; ASSIS et al., 2005; ASSIS; MAFIA, 2007). Entretanto, considerando que a produtividade do *Eucalyptus* é afetada pelas variações nas condições edafoclimáticas desse Estado (COSTA et al., 2009), o sucesso de sua cadeia florestal dependerá, em grande medida, do uso de híbridos e clones com potencial para se adaptarem a essas diferentes condições.

Recentemente, novas abordagens têm sido desenvolvidas para mensurar o efeito de diferentes condições ambientais sobre o desenvolvimento, estabilidade e adaptação de materiais genéticos a regiões específicas, destacando-se a Média Harmônica da Performance Relativa dos Valores Genéticos (MHPRVG) preditos (RESENDE, 2004, 2007).

Tal método tem sido frequentemente utilizado para mensurar a estabilidade e adaptabilidade de diferentes espécies a locais com características ambientais distintas (BORGES et al., 2009; VERARDI et al., 2009; MAIA et al., 2009; SILVA, 2008; ROSADO, et al., 2012).

Este trabalho teve por objetivo avaliar a produtividade, estabilidade e adaptabilidade de diferentes espécies e híbridos de *Eucalyptus* em quatro ambientes do Rio Grande do Sul, visando classificar os genótipos mais promissores para a geração de clones superiores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos nas áreas da empresa CMPC Celulose Riograndense, nos Municípios de Minas do Leão (Horto Florestal Cambará), Encruzilhada do Sul (Horto Florestal Capivara), Dom Feliciano (Horto Florestal Fortaleza) e Vila Nova do Sul (Horto Florestal São João), todos localizados no Estado do Rio Grande do Sul. Os dados edafoclimáticos de cada local podem ser observados na Tabela 1.

Os tratamentos foram compostos por 146 clones originados de 34 espécies e, ou, híbridos de *Eucalyptus*, tendo como testemunha o *Eucalyptus saligna*, que é a principal espécie plantada pela empresa (Tabela 2). O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso com 30 repetições e parcelas de árvore única (Single Tree Plot). O espaçamento adotado foi de 3,5 x 2,6 m, sendo os experimentos realizados seguindo-se os procedimentos operacionais da empresa.

Aos 3 anos de idade foram mensurados o diâmetro à altura do peito (dap) e a altura total, com fita diamétrica e relascópio, respectivamente, em todas as árvores do experimento.

Para o cálculo do volume sem casca foi utilizado o modelo de Leite et al. (1995), conforme apresentado a seguir:

$$V = 0,000048 * dap^{1,720483} * altura^{1,180736} * e^{(-3,00555)*(tx/dap)} * \{1 - (d/dap)^{1+0,228531*d}\} + a$$

$$R^2 = 99,36$$

em que dap = diâmetro a 1,3 m de altura; altura = altura total; tx = 0 para volume com casca e 1 para volume sem casca; d = diâmetro comercial superior; e^a = erro experimental.

Tabela 1 – Localização geográfica e condições edafoclimáticas de quatro ambientes do Estado do Rio Grande do Sul, utilizados para experimentação.**Table 1** – Geographical location and edaphoclimatic conditions of four environments used for trial in the state of Rio Grande do Sul.

	Cambará	Capivara	Fortaleza	São João
Coodenadas Geográficas	Latitude: 30°11'09"S; Longitude: 52°00'10"W;	Latitude 30°27'19"S; Longitude: 52°39'53"W;	Latitude 30°29'45"S; Longitude: 52°19'35"W;	Latitude: 30°14'46"S; Longitude: 53°49'7"W;
Altitude (metros)	141	260	378	301
Município	Minas do Leão	Encruzinhada do Sul	Dom Feliciano	Vila Nova do Sul
Ocupação Anterior	Plantio de Eucalyptus (Área de reforma)	Pastagem	Pastagem	Pastagem
Tipo de Solo	Argissolo Vermelho distróico nitossólico - textura argilosa	Argissolo Vermelho distróico abrúptico-textura arenosa/argilos	Argissolo Vermelho Amarelo distróico típico-textura média/argilosa	Argissolo Vermelho distróico típico - textura média/argilosa
Fertilidade	média e alta	média e alta	média e alta	média e baixa
Profundidade do solo	profundo	médio	raso	profundo
Relevo	plano suave ondulado	ondulado	ondulado	plano suave ondulado
Mudança textural (perfil do solo)	leve	moderada	forte	leve
Temperatura média (°C)	17,5 °C	17,0 °C	16,0 °C	16,8 °C
Temperatura mínima absoluta (°C)	-0,9 °C	-0,6 °C	-1,7 °C	-0,0 °C
Temperatura máxima absoluta (°C)	32,3 °C	33,3 °C	30,7 °C	34,7 °C
Risco de ocorrência de geadas	baixo	médio	alto	médio
Umidade relativa (%)	77,6	74,8	80,6	75,6
Pluviosidade (mm)	1.422	1.368	1.564	1.133
Velocidade do vento (metros/segundo)	5,5	5,4	4,9	6,2

O modelo estatístico para análise dessa rede experimental em vários ambientes, considerando a tomada de observação por parcela, é dado por $y = Xb + Zg + Wge + e$, em que y , b , g , ge e e são vetores de dados, de efeitos fixos (médias de blocos através dos locais), de efeitos genotípicos (aleatório), de efeitos da interação genótipos x ambientes (aleatório) e de erros aleatórios, respectivamente.

A seleção conjunta por produtividade, estabilidade e adaptabilidade dos materiais genéticos foi baseada na estatística denominada média harmônica da performance relativa dos valores genéticos (MHPRVG) preditos, conforme descrito por Resende (2004). Todas as análises foram realizadas por meio do software Selegen-Reml/Blup.

3. RESULTADOS

3.1. Desempenho das espécies e híbridos nos diferentes ambientes, para o caráter volume ($m^3/ha.ano$)

Na Tabela 3, encontram-se as estimativas dos valores genotípicos dos 30 clones superiores avaliados, em ordem decrescente, para cada ambiente. Existe variação no ordenamento entre os melhores clones e, por consequência, também entre as melhores espécies dentro dos diferentes ambientes.

Do total de 34 espécies e híbridos avaliados, 15 deles (44%) fizeram-se presentes entre os 30 melhores clones, nos quatro ambientes avaliados. Dessa maneira, pode-se afirmar que, de cada 10 espécies e híbridos testados, seis não apresentaram boa adaptação aos ambientes avaliados.

Tabela 2 – Número total e porcentagem de clones de diferentes espécies e híbridos de *Eucalyptus*, utilizados em quatro ambientes para experimentação.

Table 2 – Total number and percentage of clones of different species and hybrids of *eucalyptus* used in four environments for trial.

NÚMERO	ESPÉCIE/HÍBRIDO	NÚMERO DE CLONES	% DE CLONES POR ESPÉCIE E HÍBRIDO	SEÇÃO*
1	<i>E. grandis</i>	31	21,2%	Transversaria
2	<i>E. urophylla</i>	18	12,3%	Transversaria x Transversaria
3	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	16	11,0%	Transversaria x Transversaria
4	<i>E. saligna</i>	14	9,6%	Transversaria
5	<i>E. grandis</i> x <i>E. kirtoniana</i> - (<i>E. robusta</i> x <i>E. tereticornis</i>)	9	6,2%	Transversaria x (Annulares x Exsertaria)
6	<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	5	3,4%	Transversaria x Transversaria
7	<i>E. urophylla</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>)	5	3,4%	Transversaria x (Transversaria x Transversaria)
8	<i>E. urophylla</i> x <i>E. maidenii</i>	5	3,4%	Transversaria x Maidenaria
9	<i>E. grandis</i> x <i>E. saligna</i>	3	2,1%	Transversaria x Transversaria
10	<i>E. urophylla</i> x <i>E. saligna</i>	3	2,1%	Transversaria x Transversaria
11	<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>	2	1,4%	Transversaria x Maidenaria
12	(<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) x <i>E. globulus</i>	2	1,4%	(Transversaria x Transversaria) x Maidenaria
13	(<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) x <i>E. grandis</i>	2	1,4%	(Transversaria x Transversaria) x Transversaria
14	<i>E. grandis</i> x (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	2	1,4%	Transversaria x (Transversaria x Transversaria)
15	<i>E. pellita</i> x <i>E. grandis</i>	2	1,4%	Transversaria x Transversaria
16	<i>E. urophylla</i> x (<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>)	2	1,4%	Transversaria x (Exsertaria x Transversaria)
17	<i>E. grandis</i> x <i>E. maidenii</i>	2	1,4%	Transversaria x Maidenaria
18	<i>E. saligna</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>)	2	1,4%	Transversaria x (Transversaria x Transversaria)
19	(<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) x (<i>E. urophylla</i> x <i>E. globulus</i>)	2	1,4%	(Transversaria x Transversaria) x (Transversaria x Maidenaria)
20	(<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) x <i>E. robusta</i>	2	1,4%	(Transversaria x Transversaria) x Annulares
21	<i>E. grandis</i> x <i>E. dunnii</i>	2	1,4%	Transversaria x Maidenaria
22	<i>E. grandis</i> x <i>E. globulus</i>	2	1,4%	Transversaria x Maidenaria
23	<i>E. pellita</i>	2	1,4%	Transversaria
24	(<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) x <i>E. grandis</i>	1	0,7%	(Transversaria x Transversaria) x Transversaria
25	(<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>) x <i>E. urophylla</i>	1	0,7%	(Transversaria x Transversaria) x Transversaria
26	<i>E. globulus</i> x <i>E. grandis</i>	1	0,7%	Maidenaria x Transversaria
27	<i>E. grandis</i> x (<i>E. dunnii</i> x <i>E. grandis</i>)	1	0,7%	Transversaria x (Maidenaria x Transversaria)
28	<i>E. grandis</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>)	1	0,7%	Transversaria x (Transversaria x Transversaria)
29	<i>E. maidenii</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>)	1	0,7%	Maidenaria x (Transversaria x Transversaria)
30	<i>E. saligna</i> x (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	1	0,7%	Transversaria x (Transversaria x Transversaria)
31	<i>E. urophylla</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. globulus</i>)	1	0,7%	Transversaria x (Transversaria x Maidenaria)
32	<i>E. urophylla</i> x (<i>E. tereticornis</i> x <i>E. saligna</i>)	1	0,7%	Transversaria x (Exsertaria x Transversaria)
33	<i>E. urophylla</i> x (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	1	0,7%	Transversaria x (Transversaria x Transversaria)
34	<i>E. urophylla</i> x <i>E. deaneii</i>	1	0,7%	Transversaria x Transversaria
	Total	146	100,0%	

Observou-se também variação no desempenho da testemunha entre os locais, tanto na posição de ordenamento quanto nos valores genotípicos preditos. Essa variação foi da posição 37 no ordenamento para o ambiente Capivara até a posição 200 para o ambiente Fortaleza. Isso demonstra que a testemunha (*E. saligna*) apresenta diferente adaptabilidade entre os ambientes, apresentando maior adaptabilidade ao sítio Capivara, em comparação com o sítio Fortaleza (Tabela 3).

No sítio Fortaleza, chama-se a atenção para a porcentagem (17%) de clones pertencentes ao híbrido de *E. grandis* x *E. Kirtoniana*. Esse não é um híbrido com tradição de uso no Brasil, devendo-se entender melhor seu desempenho de produtividade e adaptabilidade.

O sítio Fortaleza é um ambiente que apresenta solo raso e mudança textural forte (Tabela 1), características que favorecem o alagamento e a consequente anoxia do sistema radicular (COSTA et al., 2009). Por sua vez, o *E. robusta* é tido como a principal espécie de *Eucalyptus* para utilização em áreas sujeitas ao encharcamento (BROOKER; KLEINIG, 2006).

3.2. Ganhos genéticos com a análise conjunta entre os ambientes

Na Tabela 4, pode-se observar o ordenamento das espécies presentes entre os 30 melhores clones para a seleção conjunta entre os quatro ambientes para a característica produtividade em volume (m³/ha.ano).

Tabela 3 – Ordenamento de valores genotípicos para a variável produtividade em volume (m³/ha.ano) dos 30 melhores clones avaliados nos quatro ambientes. **Table 3** – Ranking of genotypic values for productivity in volume (m³/ha.year) of the 30 best clones evaluated in four environments.

ORDENAMENTO	CAMBARÁ				CARVARA				FORTALEZA				SÃO JOÃO			
	CLONE	ESPECIE/HIBRIDO	VALOR GENOTÍPICO	CLONE	ESPECIE/HIBRIDO	VALOR GENOTÍPICO	CLONE	ESPECIE/HIBRIDO	VALOR GENOTÍPICO	CLONE	ESPECIE/HIBRIDO	VALOR GENOTÍPICO	CLONE	ESPECIE/HIBRIDO	VALOR GENOTÍPICO	
1	39323	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	20,8	39246	E. saligna x (E. urophylla x E. grandis)	24,0	39554	E. urophylla x (E. camaldulensis x E. grandis)	20,7	39559	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	31,7	39559	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	31,7	
2	39659	E. urophylla	20,6	39654	E. urophylla x (E. camaldulensis x E. grandis)	23,3	39706	E. grandis	15,7	39320	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	29,6	39320	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	29,6	
3	39510	E. urophylla	19,9	39002	E. grandis	20,7	39032	E. grandis	15,1	39804	E. saligna x (E. grandis x E. urophylla)	28,8	39804	E. saligna x (E. grandis x E. urophylla)	28,8	
4	6808	E. grandis	19,7	39259	E. grandis	20,0	39416	E. grandis x (E. urophylla x E. grandis)	13,9	39030	E. grandis	27,3	39030	E. grandis	27,3	
5	39085	E. urophylla x E. grandis	17,3	39423	E. grandis x E. urophylla	19,2	39320	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	13,1	39045	E. urophylla x E. grandis	27,0	39045	E. urophylla x E. grandis	27,0	
6	39814	E. urophylla	17,2	39407	E. grandis x E. urophylla	18,5	39095	E. urophylla x E. grandis	12,9	39885	E. grandis x E. kironiana	26,3	39885	E. grandis x E. kironiana	26,3	
7	39438	E. urophylla x E. grandis	17,1	39416	E. grandis x (E. urophylla x E. grandis)	18,0	39351	E. grandis x E. kironiana	12,0	39706	E. grandis	25,3	39706	E. grandis	25,3	
8	6815	E. grandis	16,6	39606	E. grandis x E. saligna	17,7	39543	E. grandis	11,9	39789	E. urophylla	24,3	39789	E. urophylla	24,3	
9	39427	E. urophylla	16,5	39841	E. grandis x E. urophylla	17,3	39546	E. grandis x E. kironiana	11,9	39092	E. grandis	22,4	39092	E. grandis	22,4	
10	39344	E. grandis	16,3	39803	E. saligna x (E. grandis x E. urophylla)	17,3	39834	E. grandis x E. kironiana	11,7	39018	E. grandis	21,7	39018	E. grandis	21,7	
11	39425	E. urophylla x E. denei	16,0	39812	E. urophylla	15,8	39325	E. grandis x E. kironiana	11,5	39445	E. urophylla	21,5	39445	E. urophylla	21,5	
12	39789	E. urophylla	15,9	39809	E. grandis	15,3	39381	E. grandis	11,3	39606	E. grandis x E. saligna	20,7	39606	E. grandis x E. saligna	20,7	
13	39320	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	14,9	39225	E. grandis	15,0	11511	E. urophylla x E. grandis	11,3	39461	E. urophylla x E. grandis	19,5	39461	E. urophylla x E. grandis	19,5	
14	39045	E. urophylla x E. grandis	14,8	39237	E. grandis	15,0	39817	E. urophylla x (E. camaldulensis x E. grandis)	11,2	39416	E. grandis x (E. urophylla x E. grandis)	19,4	39416	E. grandis x (E. urophylla x E. grandis)	19,4	
15	39209	E. urophylla x E. grandis	14,7	39251	E. grandis	14,9	39920	E. grandis x E. urophylla	11,2	39410	E. grandis x E. urophylla	19,1	39410	E. grandis x E. urophylla	19,1	
16	39335	E. urophylla x E. saligna	14,4	39032	E. grandis	14,8	39659	E. urophylla x E. denei	11,1	39438	E. urophylla x E. grandis	18,8	39438	E. urophylla x E. grandis	18,8	
17	39653	E. urophylla	14,4	39106	(E. grandis x E. urophylla) x E. grandis	14,3	39975	E. grandis	10,7	39103	E. grandis	18,8	39103	E. grandis	18,8	
18	38813	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	14,4	39257	E. grandis	13,9	39498	E. urophylla x E. denei	10,5	39425	E. urophylla x E. denei	18,7	39425	E. urophylla x E. denei	18,7	
19	39619	E. urophylla x E. grandis	14,1	39196	E. grandis	13,9	39045	E. urophylla x E. grandis	9,6	39423	E. grandis x E. urophylla	18,7	39423	E. grandis x E. urophylla	18,7	
20	39870	E. grandis	13,9	39655	E. urophylla x E. saligna	13,9	39973	E. grandis	9,5	39659	E. urophylla	18,2	39659	E. urophylla	18,2	
21	39842	E. urophylla x E. grandis	13,8	6190	E. urophylla x E. grandis	13,8	39926	E. urophylla	9,4	39519	E. saligna	18,0	39519	E. saligna	18,0	
22	39848	E. urophylla x E. grandis	13,3	39807	E. grandis x E. kironiana	13,4	39387	E. grandis	9,3	39032	E. grandis	17,9	39032	E. grandis	17,9	
23	39222	E. urophylla x E. grandis	13,2	39160	E. grandis	13,2	39002	E. grandis	9,1	39166	E. grandis	17,8	39166	E. grandis	17,8	
24	39177	E. urophylla x E. grandis	13,1	39700	E. grandis	13,1	39903	E. saligna x (E. grandis x E. urophylla)	9,0	39644	E. urophylla	17,8	39644	E. urophylla	17,8	
25	39498	E. urophylla x E. grandis	13,0	39384	E. grandis	13,0	39959	E. grandis x E. kironiana	9,0	39660	E. saligna	17,6	39660	E. saligna	17,6	
26	39554	E. urophylla	13,0	39467	E. urophylla x E. grandis	12,9	39878	E. grandis	8,9	39067	E. grandis	17,5	39067	E. grandis	17,5	
27	39460	E. urophylla x E. grandis	12,9	39659	E. urophylla x E. grandis	12,9	39504	E. urophylla x E. grandis	8,9	39096	E. urophylla x E. grandis	17,4	39096	E. urophylla x E. grandis	17,4	
28	39803	E. saligna x (E. grandis x E. urophylla)	12,9	39297	E. grandis	12,5	39659	E. urophylla x E. grandis	8,7	39543	E. grandis	16,7	39543	E. grandis	16,7	
29	39655	E. urophylla x E. saligna	12,4	39001	E. grandis	12,4	20527	E. urophylla x E. grandis	8,7	39095	E. urophylla x E. grandis	16,7	39095	E. urophylla x E. grandis	16,7	
30	32864	E. saligna (testemunha) - ordenamento 137	5,2	32864	E. saligna - ordenamento 37	11,7	39438	E. urophylla x E. grandis	8,6	39138	E. urophylla x E. grandis	16,3	39138	E. urophylla x E. grandis	16,3	
			36,8			32,1			1,6			26,5			37,3	
Média por ambiente (m ³ /ha.ano)																



Tabela 4 – Ordenamento de valores genotípicos e ganhos preditos para o caráter produtividade em volume ($m^3/ha.ano$) das diferentes espécies e híbridos na análise conjunta entre os ambientes, considerando os 30 melhores clones para esse caráter.

Table 4 – Ranking of genotypic values and predicted gains for character production in volume ($m^3/ha.year$) of the different species and hybrids in joint analysis among the environments, considering the 30 best clones for that trait.

ESPÉCIE/HÍBRIDO	VALOR GENOTÍPICO	u+g	GANHO	NOVA MÉDIA	GANHO EM RELAÇÃO (MÉDIA GERAL)	GANHO EM RELAÇÃO (TESTEMUNHA)	NÚMERO DE CLONES	% (EM 30)
<i>E. urophylla</i> x (<i>E. camaldulensis</i> x <i>E. grandis</i>)	14,3	47,1	14,3	47,1	43,7%	14,7%	1	3%
<i>E. grandis</i> x (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	13,7	46,5	14,1	46,9	43,0%	14,1%	1	3%
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	12,7	45,5	13,5	46,3	41,2%	12,7%	4	13%
<i>E. grandis</i> x <i>E. saligna</i>	11,7	44,5	12,9	45,7	39,2%	11,1%	1	3%
<i>E. urophylla</i>	11,1	43,9	12,5	45,3	38,0%	10,1%	4	13%
<i>E. urophylla</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>)	11,0	43,8	12,4	45,2	37,8%	10,0%	1	3%
<i>E. urophylla</i> x <i>E. deanei</i>	10,6	43,4	12,2	45,0	37,1%	9,5%	1	3%
<i>E. grandis</i> x <i>E. kirfontiana</i>	10,5	43,3	12,1	44,9	36,8%	9,2%	2	7%
<i>E. grandis</i>	10,4	43,2	12,1	44,9	36,8%	9,2%	8	27%
<i>E. saligna</i> x (<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>)	10,4	43,2	11,9	44,7	36,4%	8,9%	2	7%
<i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	9,7	42,5	11,5	44,3	35,1%	7,8%	3	10%
<i>E. saligna</i> x (<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>)	9,6	42,4	11,5	44,3	35,1%	7,8%	1	3%
<i>E. urophylla</i> x <i>E. saligna</i>	9,2	42,0	11,2	44,0	34,1%	7,0%	1	3%
<i>E. saligna</i> (testemunha)	5,9	38,8	8,3	41,1	25,3%	-	-	-
			Média geral	32,8				

Tabela 5 – Ordenamento da estabilidade de valores genéticos (MHVG), adaptabilidade de valores genéticos (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG) para o caráter produtividade em volume (m³/ha.ano).
Table 5 – Ranking of stability of genetic values (MHVG), adaptability of genetic values (PRVG) and simultaneously stability and adaptability (MHPRVG) for productivity in volume (m³/ha.year).

ORDENAMENTO	ESTABILIDADE			ADAPTABILIDADE			ESTABILIDADE E ADAPTABILIDADE		
	ESPÉCIE/HÍBRIDO	MHVG	PRVG	ESPÉCIE/HÍBRIDO	PRVG	PRVG*MG	ESPÉCIE/HÍBRIDO	MHPRVG	MHPRVG*MG
1	E. urophylla x (E. camaldulensis x E. grandis)	50,4	1,633	E. urophylla x (E. camaldulensis x E. grandis)	1,633	53,6	E. urophylla x (E. camaldulensis x E. grandis)	1,598	52,5
2	E. grandis x (E. urophylla x E. grandis)	48,9	1,578	E. grandis x (E. urophylla x E. grandis)	1,578	51,8	E. grandis x (E. urophylla x E. grandis)	1,578	51,8
3	E. grandis	48,5	1,474	E. grandis x E. saligna	1,474	48,4	E. urophylla	1,462	48,0
4	E. urophylla	48,2	1,470	E. urophylla	1,470	48,3	E. grandis x E. saligna	1,458	47,9
5	E. grandis x E. urophylla	47,7	1,466	E. urophylla x E. grandis	1,466	48,2	E. urophylla x E. grandis	1,456	47,8
6	E. urophylla x E. deanei	47,5	1,460	E. grandis	1,460	48,0	E. grandis	1,436	47,2
7	E. urophylla x E. globulus	46,6	1,439	E. grandis x E. urophylla	1,439	47,3	E. saligna x (E. grandis x E. urophylla)	1,433	47,1
8	E. grandis x E. Kirtoniana	46,4	1,437	E. saligna x (E. grandis x E. urophylla)	1,437	47,2	E. grandis x E. urophylla	1,430	47,0
9	E. urophylla x E. grandis	46,2	1,436	E. grandis x E. Kirtoniana	1,436	47,2	E. grandis x E. Kirtoniana	1,427	46,9
10	E. saligna x (E. grandis x E. urophylla)	46,2	1,411	E. saligna x (E. urophylla x E. grandis)	1,411	46,3	E. urophylla x E. deanei	1,372	45,1
11	E. urophylla x E. saligna	45,6	1,406	E. urophylla x (E. grandis x E. urophylla)	1,406	46,2	E. saligna x (E. urophylla x E. grandis)	1,371	45,0
12	E. saligna	45,1	1,390	E. urophylla x E. deanei	1,390	45,6	-	-	-
-	E. saligna (32864)	38,7	1,22	E. saligna (32864)	1,22	40,0	E. saligna (32864)	1,21	39,7
Média geral (MG)								32,8	
Ganho genético em relação à média do experimento (02 melhores híbridos)								59%	
Ganho genético em relação à média da testemunha (02 melhores híbridos)								31%	



As duas melhores espécies e híbridos do ordenamento são “three-way cross” e proporcionam um ganho de 43,4% em relação à média do experimento. Isso pode ter ocorrido porque a participação de um número maior de espécies nos cruzamentos controlados proporciona aos materiais genéticos produzidos maior estabilidade entre os diferentes ambientes.

Quando se compara o ganho genético em relação à testemunha comercial (*Eucalyptus saligna*), esse ganho é da ordem de 14,4%, diminuindo sensivelmente em relação ao ganho referente à média do experimento. Isso demonstra a relativa boa adaptação da testemunha comercial utilizada neste estudo.

3.3. Estabilidade e adaptabilidade

Na Tabela 5 são apresentados os resultados da estabilidade (MHVG), adaptabilidade (PRVG) e estabilidade e adaptabilidade simultaneamente (MHPRVG), para a característica produtividade em volume (m³/ha.ano).

Observa-se que, assim como ocorreu na seleção com base no ordenamento dos valores genotípicos em volume, na seleção simultânea para estabilidade e adaptabilidade os dois melhores materiais genéticos do ordenamento também foram “three-way cross”, ou retrocruzamentos.

Comparando os ganhos obtidos com a MHPRVG em relação à média do experimento, o ganho proporcionado foi de 59,0%. Já em relação à testemunha (*E. saligna*) a superioridade média desses dois melhores materiais genéticos foi de 31,0%. Confrontando esse ganho com o predito no ordenamento de valores genotípicos entre os ambientes (Tabela 4), também em relação à testemunha, ele foi de 14,4%.

Isso significa um ganho adicional de 16,6% em relação à testemunha, quando se utiliza a seleção simultânea por adaptabilidade e estabilidade dos valores genotípicos, em comparação com a testemunha comercial. Como o objetivo de um programa de melhoramento genético deve ser sempre superar o material genético atualmente plantado comercialmente pelas empresas (testemunha), o desenvolvimento de métodos como a seleção simultânea por estabilidade e adaptabilidade (MHPRVG) torna-se importante para garantir que maior percentual de ganho seja alcançado.

4. DISCUSSÕES

A alta porcentagem de materiais que não estão bem adaptados pode estar associada à falta de heterose em alguns pares de cruzamentos realizados, uma vez que 90% do material testado foi de híbridos. Para Assis e Mafia (2007), a maioria dos benefícios proporcionados pelo uso de híbridos em *Eucalyptus*, principalmente quanto à produtividade florestal, é creditada à manifestação de heterose para crescimento e à complementaridade que certas espécies apresentam em relação às características necessárias para adaptação.

Assis (2000) relatou que em alguns cruzamentos entre espécies da seção *Transversaria*, no Estado de Minas Gerais, não foi detectada heterose para crescimento, e os materiais genéticos não se mostraram bem adaptados a essa região. Isso pode ter ocorrido em decorrência de a menor probabilidade de heterose entre espécies da mesma seção, geneticamente mais próximas, ser menor do que entre espécies de seções diferentes (KHA; CUONG, 2000; ASSIS; SANTOS, 2012).

Segundo Prior e Johnson (1971), o *Eucalyptus kirtoniana* foi primeiramente mencionado em 1879 no documento “Eucalyptographia” como *Eucalyptus resinifera*. Já em 1880 foi formalmente descrito por Mueller como a espécie *E. kirtoniana*. Posteriormente, em outras publicações apareceu como *Eucalyptus patentinervis* F. Muell ex RT Baker e também como *Eucalyptus resinifera* var. *kirtoniana* (F. Muell.) H. Deane e Donzela. Nesse documento, os mesmos autores o descreveram como híbrido de *E. robusta* x *E. tereticornis* e, assim, a espécie vem sendo considerada desde então. Dessa maneira, pode-se afirmar que o *E. robusta* forneceu a esse híbrido alelos favoráveis ao crescimento em áreas sujeitas ao encharcamento (favoráveis à anoxia do sistema radicular), o que proporcionou o bom desenvolvimento dos clones desse híbrido no ambiente Fortaleza.

Deve-se observar ainda que espécies puras usadas em regiões com ocorrência de geadas severas (caso do ambiente Fortaleza), como o *E. dunnii*, *E. benthamii* e *E. viminalis*, conforme descrito por Santos et al. (2012), não estavam entre os materiais genéticos testados (Tabela 2). O uso dessas espécies e seus híbridos poderia ter contribuído para o aumento da produtividade em volume no ambiente Fortaleza.

Observou-se ainda que, entre o grupo dos cinco melhores clones para cada ambiente, há alguns clones

que são “three-way cross” (9 em 20,45% do total), principalmente no Sítio São João, onde os três melhores clones são three cross.

Para Assis e Mafia (2007), o fato de os híbridos de *Eucalyptus* serem férteis (NIKLES, 1992) permite que híbridos F₁ sejam utilizados em novos cruzamentos para a integração de genes de outras espécies (three-way e four-way crosses). A utilização de indivíduos híbridos superiores em novos cruzamentos é recomendada, uma vez que a superioridade apresentada pelos indivíduos tem mérito genético (RESENDE; HIGA, 1990; NIKLES 1992).

Provavelmente, essa superioridade é resultado da complementaridade, em que a introdução de um terceiro conjunto gênico pode criar melhores condições adaptativas a condições ambientais variáveis. Além disso, clones multiespécies são mais estáveis, pois a interação genótipos x ambientes decresce à medida que há aumento no número de espécies no cruzamento (ASSIS; MAFIA, 2007).

Essa constatação está alinhada com propostas atuais de estratégias de melhoramento genético, como a proposta realizada por Resende e Assis (2008), que recomendaram que os modernos programas de melhoramento genético do *Eucalyptus* devem ser conduzidos através da Seleção Recorrente Recíproca entre Populações Sintéticas Multiespécies (SRR-PSME).

Essa estratégia é baseada na observação de que é praticamente impossível combinar em único indivíduo todas as características necessárias para um programa de melhoramento florestal, sem aumentar a possibilidade de várias espécies de *Eucalyptus* contribuírem com alelos das diversas características de interesse (RESENDE; ASSIS, 2008).

A superioridade dos materiais “three-way cross” na análise simultânea por adaptabilidade e estabilidade confirma observações que indicam que materiais genéticos com maior número de espécies participando da formação do híbrido tendem a ser mais adaptados e também estáveis a variações ambientais dos locais de plantio.

Esses resultados podem servir para o direcionamento de cruzamentos controlados em fases avançadas de programas de melhoramento genético. Assis e Mafia (2007) relataram que alguns programas de hibridação em desenvolvimento no Brasil têm utilizado clones de

híbridos oriundos dos programas comerciais de clonagem, para cruzamentos do tipo “three-way cross” e também retrocruzamentos. Essas combinações permitem, em muitos casos, manter a heterose já presente nos indivíduos híbridos utilizados nos cruzamentos.

Provavelmente, essa superioridade é resultado de complementaridade, em que a introdução de um terceiro conjunto gênico pode criar melhores condições de adaptação a condições ambientais variáveis. Dessa maneira, quando *E. urophylla* recebe pólen de *E. camaldulensis* x *E. grandis*, por exemplo, além de estar recebendo alelos de *E. grandis* (que é uma espécie razoavelmente bem adaptada ao Rio Grande do Sul) e com quem combina e produz heterose, recebe alelos de *E. camaldulensis*, que provavelmente adicionam mais alguma vantagem adaptativa.

5. CONCLUSÕES

Em programa de melhoramento do eucalipto, a análise simultânea de produtividade, estabilidade e adaptabilidade deve ser preferida em relação ao simples ordenamento de valores genotípicos, principalmente quando se compara o ganho em relação à testemunha comercial.

O ambiente Fortaleza foi o que apresentou a menor produtividade volumétrica entre os ambientes avaliados, devido à ocorrência de geadas severas e ao solo encharcado, que provoca a anoxia do sistema radicular. Nesse cenário, destacou-se o híbrido de *E. grandis* x *E. kirtoniana* (*E. robusta* x *E. tereticornis*), que não tem tradição de uso no Brasil e pode ser alternativa para plantios em áreas com essas características no Estado do Rio Grande do Sul.

Na seleção simultânea, destacaram-se os híbridos interespecíficos envolvendo, pelo menos, três espécies “three-way cross”. O uso de número maior de espécies no cruzamento permitiu desenvolver clones com ampla adaptabilidade e estabilidade a diferentes condições edafoclimáticas.

Os híbridos mais promissores para a geração de clones superiores foram *E. urophylla* x (*E. camaldulensis* x *E. grandis*), *E. grandis* x (*E. urophylla* x *E. grandis*), *E. saligna* x (*E. grandis* x *E. urophylla*) e *E. grandis* x *E. kirtoniana* (*E. robusta* x *E. tereticornis*) e *E. grandis* x *E. urophylla*.

Esses resultados levam a considerar dentro do programa de melhoramento florestal a produção de

materiais genéticos oriundos do cruzamento entre três ou mais espécies, para aumentar a produção florestal no Rio Grande do Sul.

Por exemplo, um programa de melhoramento genético pode ser realizado através de Seleção Recorrente Recíproca entre Populações Sintéticas Multiespécies (SRR-PSME).

Dessa maneira, tem-se a possibilidade de combinar em um único indivíduo alelos importantes para as condições edafoclimáticas da região. Por exemplo, pode-se trabalhar uma população sintética multiespécie baseada nas seguintes espécies: *E. grandis* (crescimento), *E. benthamii* (resistência a geadas), *E. kirtoniana* (resistência ao encharcamento), *E. urophylla* (enraizamento), *E. camaldulensis* (resistência ao déficit hídrico) e *E. globulus* (qualidade da madeira para celulose).

6. AGRADECIMENTOS

A empresa Klabin S.A., pela oportunidade inicial de realizar o doutorado que deu origem a esse trabalho e a CMPC Celulose Riograndense pelo apoio para publicação desse artigo.

7. REFERÊNCIAS

- ASSIS, T.F. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: Hybrid breeding and genetics of forest purposes. In: DUNGEY, H.S.; DIETERS, M. J.; NIKLES, D.J. (Ed.). In: QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM, NOOSA, Queensland, Austrália. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary industries, 2000. p.63-75.
- ASSIS, T.F. Evolution of technology for cloning *Eucalyptus* in large scale: In: IUFRO INTERNATIONAL SYMPOSIUM, Valdivia. **Proceeding...** Chile: Embrapa/CNPQ, 2001. p.22.
- ASSIS, T.F.; WARBURTON, P.; HARWOOD, C. Artificially induced protogyny: an advance in the controlled pollination of *Eucalyptus*. **Australian Forestry**, v.68, n.1, p.27-33, 2005.
- ASSIS, T.F.; MAFIA, R.G. Hibridação e clonagem. In: BORÉM, A. (Ed.) **Biotecnologia florestal**. Viçosa, MG: [s.n.], 2007. p.93-121.
- ASSIS, T.F.; SANTOS, G.A. Potencialidade de híbridos com *Eucalyptus benthamii*. In: SILVA, L.D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G.A., (Coord.) **Silvicultura e melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: FUPEF, 2012. p.61-75.
- BORGES, V. et al. Progresso genético do programa de melhoramento de arroz de terras altas de Minas gerais utilizando modelos mistos. **Revista Brasileira de Biometria**, v.27, n.3, p.478-490, 2009.
- BROOKER, M.I.H.; KLEINIG, D.A. **Field guide to *Eucalyptus***. 3.ed. South-Eastern Austrália, 2006. 356p. v.1
- COSTA, et al., Avaliação do risco de anoxia para o cultivo do eucalipto no Rio Grande do Sul, utilizando-se levantamento de solos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 367-375, dez. 2009.
- KHA, L.D.; CUONG, N.V. Research on hybridization of some *Eucalyptus* species in Vietnam-Hybrid breeding and genetics of Forest Trees. In: DUNGEY, H.S.; DIETERS, M.J.; NIKLES, D.J. (Ed.) **HYBRID BREEDING AND GENETICS OF FOREST TREES. QFRI/CRC-SPF SYMPOSIUM**, Noosa, Queensland, Austrália. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p.139-146.
- LEITE, H.G. et al. Descrição e emprego de um modelo para estimar múltiplos volumes de árvores. **Revista Árvore**, v.19, n.1, p.75-79, 1995.
- MAIA, M. C. C. et al. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.39, n.1, p.43-50, 2009.
- NIKLES, D.G. Hybrids of forest trees: The bases of hybrid superiority and discussion of breeding methods. In: **IUFRO CONFERENCE RESOLVING TROPICAL FOREST RESOURCE CONCERNS THROUGH TREE IMPROVEMENT, GENE CONSERVATION AND DOMESTICATION OF NEW SPECIES**, 1992, Cartagena and Cali. **Proceedings...** Cali: 1992. p.333-347.
- PRYOR, L.D.; JOHNSON, L.A.S. **A classification of the eucalyptus**. Canberra, Australian National University, 1971.

- RESENDE, M.D.V.; HIGA, A.R. Estratégias de melhoramento para *Eucalyptus* visando à seleção de híbridos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, v.21, n.1, p.49-60,1990.
- RESENDE, M. D. V. **Novas abordagens estatísticas na análise de experimentos e campo**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. 60p. (Embrapa Florestas Documentos 100).
- RESENDE, M.D.V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa informações tecnológicas, 2002. 975p.
- RESENDE, M.D.V. Melhoramento de essências florestais. In: BORÉM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005. p.717-780.
- RESENDE, M.D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 562p.
- RESENDE, M.D.V.; ASSIS, T.F. Seleção recorrente recíproca entre populações sintéticas multi- espécies (SRR-PSME) de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n.57, p.57-60, jul./dez., 2008.
- ROSADO, A.M. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n.7, p.964-971, 2012.
- SANTOS, G.A.; XAVIER, A.; LEITE, H.G. Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.737-747, 2006.
- SANTOS, G.A. et al. Potencial da silvicultura clonal de *Eucalyptus benthamii* para o sul do Brasil. In: SILVA, L.D.; HIGA, A. R.; SANTOS, G.A., (Coord.) **Silvicultura e melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: FUPEF, 2012. p.77-103.
- SILVA, L. D. Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando a produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. 275p. 2008.
- TIBBITS. W.N.; DEAN, G.; FRENCH, J. Relative pulping properties of *Eucalyptus nitens* x *E. globulus* F₁ hybrids. In: CRCTHF-IUFRO CONFERENCE *EUCALYPTUS* PLANTATION: Improving Fiber Yield and Quality. Hobart: 1995. **Proceedings...** Hobart: 1995. p.83-84.
- VERARDI, C.K. et al. Adaptabilidade e estabilidade da produção de borracha e seleção em progênies de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.10, p.1277-1282, 2009.

