

## Nota Científica

# Seleção Recorrente Recíproca entre Populações Sintéticas Multi-Espécies (SRR-PSME) de Eucalipto

Marcos Deon Vilela de Resende<sup>(1)</sup> e Teotônio Francisco de Assis<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, Km 111, Caixa Postal 319, CEP 83411-000, Colombo-PR. E-mail: deon@cnpf.embrapa.br; <sup>(2)</sup>Assistech Ltda., Avenida Reis Magos número, 587, Condomínio Vila Castela, CEP 34000-000, Nova Lima-MG. Email: assisteo@terra.com.br

**Resumo** - Propõe-se estratégia de melhoramento para o eucalipto, que visa contemplar, em um mesmo indivíduo, características desejáveis presentes em diferentes espécies e, simultaneamente, capitalizar heterose para crescimento, advinda de vários pares de espécies, cujas combinações são sabidamente heteróticas. Baseia-se na obtenção de duas populações sintéticas multi-espécies e posterior seleção recorrente recíproca (SRR) entre essas. É denominada seleção recorrente recíproca entre populações sintéticas multi-espécies (SRR-PSME) e melhora os caracteres resistência à seca e às doenças, volume, densidade, rendimento e teor de lignina. São apresentadas opções para composição das populações sintéticas. A SRR-PSME é favorável também à aplicação da seleção genômica.

**Termos para indexação:** Estratégias de melhoramento, melhoramento do eucalipto, hibridação e clonagem, celulose.

## Reciprocal Recurrent Selection between Synthetic Multi Species Populations (RRS-SMSP) of Eucalypt

**Abstract** - It is proposed a breeding strategy for eucalypt, which congregates in an individual desirable traits belonging to different species and capture the heterosis for growth, stemming from several pair of species of known heterotic behavior. Such strategy relies on obtaining two synthetic multi species populations and posterior reciprocal recurrent selection (RRS) between them. It is called reciprocal recurrent selection between synthetic multi species populations (RRS-SMSP) and improves the traits drought, disease resistance, volume, density, yield and lignin content. Options for making the synthetic multi species populations are presented. The RRS-SMSP is suitable for applying the genomic selection.

**Index terms:** Breeding strategies, eucalypt breeding, hybridization and cloning, cellulose.

As estratégias ideais de melhoramento de híbridos de eucalipto com vistas à clonagem devem basear-se em alguma forma de seleção recorrente recíproca (SRR), conforme sugerido por Resende e Higa (1990) e adotado no melhoramento do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, no Congo, a partir da década de 1990 (VIGNERON, 1991, 1992; BOUVET et al., 1992; BARADAT et al., 1995; BOUVET, 1995; BOUVET; VIGNERON, 1995) e no Brasil a partir de 2000 (REZENDE; RESENDE, 2000). O uso da SRR é recomendado para o melhoramento do eucalipto devido à presença de dominância alélica e heterose para os caracteres de crescimento (altura da árvore, diâmetro do tronco e volume de madeira) nesse gênero.

A comparação entre várias estratégias de SRR levou à conclusão de que o melhor esquema de SRR (o qual maximiza o ganho genético por unidade de tempo) a ser adotado é a SRR de genitores com híbridos intermediários (SRR-G-HI) (RESENDE, 2002; RESENDE; BARBOSA, 2005). Esse esquema foi originalmente proposto por Resende e Higa (1990). Tal método tem sido usado por várias indústrias de celulose no Brasil, África do Sul e Congo, geralmente envolvendo o híbrido entre as espécies *E. urophylla* x *E. grandis*. Os resultados têm sido satisfatórios (BISON et al., 2006). No entanto, recentemente, surgiu a necessidade de inclusão de outras espécies nos cruzamentos visando à combinação, em um único indivíduo, das características:

alto crescimento, alta densidade da madeira, alto rendimento de celulose, resistência à seca, resistência às doenças e, em alguns casos, resistência ou tolerância ao frio. Essas espécies são *E. globulus*, *E. camaldulensis*, *E. pellita*, *E. dunnii*, *E. benthamii*, *E. viminalis*, dentre outras.

É praticamente impossível conduzir programas de SRR para todas as combinações duas a duas dessas espécies. Em função disso, o presente trabalho propõe uma nova estratégia de melhoramento para o eucalipto no Brasil, no contexto da indústria de celulose. Essa estratégia contempla, em um mesmo indivíduo destinado à clonagem, todas as características desejáveis e, simultaneamente, capitaliza e melhora a heterose para crescimento, advinda de vários pares de espécies cujas combinações são sabidamente heteróticas.

A nova estratégia proposta baseia-se na obtenção de duas populações sintéticas multi-espécies e posterior SRR entre essas. Esse esquema é denominado seleção recorrente recíproca entre populações sintéticas multi-espécies (SRR-PSME) e visa congrega e melhorar simultaneamente todos os caracteres de importância adaptativa (resistência à seca e às doenças), quantitativa (volume, densidade e rendimento) e qualitativa (teor e qualidade da lignina) para a produção de celulose. Os caracteres resistência à seca e às doenças, densidade da madeira, rendimento de celulose e teor de lignina apresentam herança aditiva e devem estar adequadamente contemplados em cada uma das populações base para a SRR. No contexto da SRR, esses caracteres serão também continuamente melhorados na etapa da seleção de indivíduos recombinados, visando ao início dos novos ciclos de SRR. O caráter volume de madeira apresenta dominância alélica e, portanto, exibe heterose quando materiais divergentes são cruzados. Essa heterose é continuamente melhorada pela SRR-PSME.

Considerando-se os diferentes ambientes de plantio no Brasil, sugere-se a composição das seguintes populações sintéticas, por meio da realização de cruzamentos interespecíficos.

### **Produção de Celulose em Ambientes Tropicais – Opção 1**

**População Sintética 1 (PS1):** *E. grandis* (crescimento), *E. camaldulensis* ou *E. tereticornis* (resistência à seca e às doenças, alta densidade), *E.*

*globulus* (baixo teor de lignina, alto rendimento e alta densidade).

**População Sintética 2 (PS2):** *E. urophylla* (crescimento), *E. pellita* (resistência à seca e às doenças, alta densidade), *E. dunnii* (baixo teor de lignina, alto rendimento).

Verifica-se que as duas populações sintéticas contemplam as seis principais características necessárias à produção econômica de celulose nos ambientes tropicais de cultivo do eucalipto. Nessas populações sintéticas poderão ser selecionados indivíduos recombinantes apresentando todas essas características em níveis favoráveis. Adicionalmente, esses caracteres serão continuamente melhorados nas etapas de seleção e recombinação da SRR-PSME.

Esse esquema de SRR-PSME entre PS1 e PS2 capitaliza as seguintes heteroses, já comprovadas na prática (ASSIS, 2000): *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. camaldulensis*, *E. urophylla* x *E. globulus*, *E. pellita* x *E. grandis*, *E. dunnii* x *E. grandis*, *E. dunnii* x *E. globulus*. Isto justifica a composição sugerida para PS1 e PS2.

### **Produção de Celulose em Ambientes Tropicais – Opção 2**

**População Sintética 1 (PS1):** *E. grandis* (crescimento), *E. pellita* (resistência à seca e às doenças, alta densidade), *E. dunnii* (baixo teor de lignina, alto rendimento).

**População Sintética 2 (PS2):** *E. urophylla* (crescimento), *E. camaldulensis* ou *E. tereticornis* (resistência à seca e às doenças, alta densidade), *E. globulus* (baixo teor de lignina, alto rendimento e alta densidade).

Essa opção 2 visa agilizar a formação das populações sintéticas por meio do uso de combinações híbridas já presentes em vários programas de melhoramento do eucalipto no Brasil. Nesse caso, a formação da PS1 é realizada pela recombinação dos híbridos *E. grandis* x *E. pellita* e *E. grandis* x *E. dunnii* já presentes em algumas empresas. Por outro lado, a formação da PS2 é realizada pela recombinação dos híbridos *E. urophylla* x *E. camaldulensis* e *E. urophylla* x *E. globulus* também já presentes em algumas empresas. Procedendo-se dessa forma, com apenas uma geração de recombinação, consegue-se colocar em um mesmo indivíduo alelos de todas as espécies.

Essa opção capitaliza as seguintes heteroses, já comprovadas na prática: *E. urophylla* x *E. grandis*, *E. urophylla* x *E. pellita*, *E. urophylla* x *E. dunnii*, *E. grandis* x *E. camaldulensis*, *E. grandis* x *E. globulus*, *E. dunnii* x *E. globulus*. Adicionalmente, cruzamentos inter-sintéticos podem também já serem adiantados, tal qual (*E. urophylla* x *E. globulus*) x (*E. grandis* x *E. pellita*), que já permitirá a seleção de clones com alto crescimento, alta qualidade da madeira e resistência às doenças. Também o cruzamento (*E. grandis* x *E. dunnii*) x (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*) já permitirá isso. O adiantamento desses cruzamentos inter-sintéticos propiciará também informações sobre os genitores híbridos a serem recombinados no contexto da SSR-PSME.

Esses adiantamentos são menos passíveis de serem realizados na opção 1. Nesse caso, embora na PS1 já existam os híbridos *E. grandis* x *E. camaldulensis* e *E. grandis* x *E. globulus* em algumas empresas, na PS2 praticamente não existem combinações híbridas já prontas.

### Produção de Celulose em Ambientes Tropicais – Opção 3

**População Sintética 1 (PS1):** *E. grandis* (crescimento), *E. pellita* (resistência à seca e às doenças, alta densidade), *E. globulus* (baixo teor de lignina, alto rendimento, alta densidade).

**População Sintética 2 (PS2):** *E. urophylla* (crescimento), *E. camaldulensis* ou *E. tereticornis* (resistência à seca e às doenças, alta densidade), *E. dunnii* (baixo teor de lignina, alto rendimento).

Essa opção propicia vantagens similares às relatadas para a opção 2.

### Produção de Celulose em Ambientes Frios

**População Sintética 1 (PS1):** *E. grandis* (crescimento), *E. globulus* (baixo teor de lignina, alto rendimento, alta densidade), *E. viminalis* (resistência ao frio e alta densidade), *E. saligna* (crescimento, densidade maior que a de *E. grandis*).

**População Sintética 2 (PS2):** *E. urophylla* (crescimento), *E. dunnii* (baixo teor de lignina, alto rendimento), *E. smithii* (baixo teor de lignina, alto rendimento, alta densidade, resistência ao frio), *E. benthamii* (resistência ao frio).

A recombinação de genitores para a composição de cada população sintética deverá ser realizada por via de policruzamentos. Ao menos 100 genitores pertencentes às diferentes espécies ou híbridos são recomendados para a formação de cada população sintética. Pólens desses 100 genitores deverão ser misturados para a polinização de cada um deles. Ao menos duas gerações de recombinação são necessárias para que se tenha em um mesmo indivíduo alelos contribuídos por todas as espécies. Se genitores já híbridos forem utilizados, uma só geração de recombinação será suficiente.

Assim, tomando como referência a opção 3, a PS1 poderia ser formada pelos seguintes números de genitores selecionados: 40 de *E. grandis*, 40 de *E. pellita* e 40 de *E. globulus*. E a PS2 poderia ser formada pelos seguintes números de genitores selecionados: 40 de *E. urophylla*, 40 de *E. camaldulensis* e 40 de *E. dunnii*.

Adicionalmente a PS1 e PS2, outra população sintética (PS3) multi-espécies pode ser formada pelos cruzamentos entre clones elites comerciais híbridos e também entre híbridos experimentais já desenvolvidos, os quais envolvam espécies pertencentes às diferentes populações sintéticas PS1 e PS2. Essa é uma forma de utilização dos híbridos *E. urophylla* x *E. grandis* já gerados, bem como de novas combinações elites que estão sendo geradas. Essa população deve ser melhorada pela seleção recorrente intrapopulacional em população sintética (SRIPS), conforme relatam Resende e Barbosa (2005).

Essas estratégias de melhoramento baseadas em populações sintéticas se adequam perfeitamente à seleção genômica ampla “*genome wide selection*” (GWS), um novo método de seleção apresentando alta acurácia seletiva para aquela baseada exclusivamente em marcadores, após terem seus efeitos genéticos estimados a partir de dados fenotípicos em uma amostra da população de seleção (RESENDE, 2007; RESENDE et al., 2008). A seleção genômica ampla poderá ser inicialmente avaliada na população sintética 3 e, posteriormente, dependendo dos resultados, na população híbrida entre PS1 e PS2 e nessas próprias. Essas populações deverão apresentar um alto desequilíbrio de ligação gênica e, com baixo tamanho efetivo populacional, esse desequilíbrio é muito favorável à GWS.

A SRR-PSME deverá ser iniciada com um tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) igual a 100 e a cada recombinação deverá ser mantido um  $N_e$  de 30 ou menor, visando propiciar uma adequada intensidade de seleção.

A eficiência da GWS depende da proporção da variação do caráter quantitativo explicada pelos marcadores. Esse proporção é dada pela estatística  $r^2$ , que mede a magnitude do desequilíbrio de ligação e depende do tamanho efetivo populacional ( $N_e$ ) e da frequência de recombinação (ou distância entre locos). Para  $N_e$  menores que 30, tem-se as seguintes situações. Para  $N_e=10$  e distância entre locos marcadores de 1 cM, o valor esperado de  $r^2$  é 0,71. Para essa mesma distância entre locos e  $N_e$  de 20 e 30, os valores esperados de  $r^2$  são 0,56 e 0,45, respectivamente. Com o dobro de marcadores e espaçamento de 0.5 cM entre marcadores, os valores esperados de  $r^2$  são: (i):  $N_e = 10$ ;  $r^2 = 0.83$ ; (ii)  $N_e = 20$ ;  $r^2 = 0.71$ ; (iii)  $N_e = 30$ ;  $r^2 = 0.63$ . Esses valores são favoráveis à GWS.

### Conclusão

Em suma, a SRR-PSME é uma estratégia adequada, pois: (i) combina em um mesmo indivíduo todas as características desejáveis presentes em diferentes espécies; (ii) melhora continuamente a heterose para crescimento; (iii) é favorável à aplicação da seleção genômica ampla, uma ferramenta que pode impactar fortemente o melhoramento genético.

### Referências

- ASSIS, T. F. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes. In: DUNGEY, H. S.; DIETERS, M. J.; NIKLES, D. G. comp. **Hybrid Breeding and Genetics of Forest trees**: Proceedings of QFRI/CRC-SPF Symposium, 9-14 April 2000, Noosa. Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p.63-74.
- BARADAT, P.; LABBÉ, T.; BOUVET, J. M. Conception d'index pour la sélection réciproque récurrent: aspects génétiques, statistiques et informatiques. In: CIRAD (Montpellier) **Traitements statistiques des essais de sélection**: stratégies d'amélioration des plantes pérennes. Actes du Séminaire de Biométrie et Génétique Quantitative. Montpellier, 1995. p. 101-150.
- BISON, O.; RAMALHO, M. A. P.; REZENDE, G. D. S. P.; AGUIAR, A. M.; RESENDE, M. D. V. Comparison between open pollinated progenies and hybrids performance in *Eucalyptus grandis* and *Eucalyptus urophylla*. **Silvae Genetica**, v. 55, n. 4/5, p. 192-196, 2006.
- BOUVET, J. M. Selection precoce de l'eucalyptus au Congo. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 246, n. 4, p. 23-40, 1995.
- BOUVET, J. M.; COUTEAU, N.; VIGNERON, P. Premiers éléments de l'analyse des plans factoriels du schéma de sélection réciproque de l'eucalyptus au Congo. In: PRODUCTION DE VARIÉTÉS GÉNÉTIQUEMENT AMÉLIORÉES D'ESPÈCES FORESTIÈRES À CROISSANCE RAPIDE, 1992. Bordeaux. **Proceedings...** Nangis: AFOCEL, 1992, p. 317-326.
- BOUVET, J. M.; VIGNERON, P. Age trends in variances and heritabilities in Eucalyptus factorial mating designs. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 44, n. 4, p. 206-216, 1995.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V. de. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561 p.
- RESENDE, M. D. V. de; BARBOSA, M. H. P. **Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada**. Colombo: Embrapa Florestas, 2005. 130 p.
- RESENDE, M. D. V. de; HIGA, A. R. Estratégias de melhoramento para eucalipto visando a seleção de híbridos. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 20/21, p. 1-20, 1990.
- RESENDE, M. D. V.; LOPES, P. S.; SILVA, R. L.; PIRES, I. E. Seleção genômica ampla (GWS) e maximização da eficiência do melhoramento genético. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 56, p. 63-78, 2008.
- REZENDE, G. D. S. P.; RESENDE, M. D. V. de. Dominance effects in *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* and hybrids. In: DUNGEY, H. S.; DIETERS, M. J.; NIKLES, D. G. (Eds.). **Hybrid Breeding and Genetics of Forest Trees**, 2000, Noosa. **Proceedings...** Brisbane: Department of Primary Industries, 2000. p. 93-100.
- VIGNERON, P. Création et amélioration de variétés hybrides d'eucalyptus au Congo. In: IUFRO CONGRESS ON INTENSIVE FORESTRY: THE ROLE OF EUCALYPTUS, Durban, 1992. **Proceedings**. Durban: SAFRI, 1991, p.345-353.
- VIGNERON, P. Création et amélioration de variétés hybrides d'eucalyptus au Congo. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 234, n. 4, p. 29-42, 1992.

---

Recebido em 04 de novembro de 2008 e aprovado em 21 de novembro de 2008