

BRÍGIDA MARIA DOS REIS TEIXEIRA VALENTE

**AVALIAÇÃO DE CLONES HÍBRIDOS DE *Corymbia* PARA CRESCIMENTO,  
QUALIDADE DA MADEIRA E CARVÃO VEGETAL NA REGIÃO DO RIO DOCE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do  
título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

V154a  
2017

Valente, Brígida Maria dos Reis Teixeira, 1982-  
Avaliação de clones híbridos de *Corymbia* para  
crescimento, qualidade da madeira e carvão vegetal na região do  
Rio Doce / Brígida Maria dos Reis Teixeira Valente. – Viçosa,  
MG, 2017.

x, 84 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Eduardo Euclides de Lima e Borges.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. *Corymbia*. 2. Melhoramento genético. 3. Madeira.  
4. Carvão vegetal. 5. *Eucalyptus*. I. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de  
Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

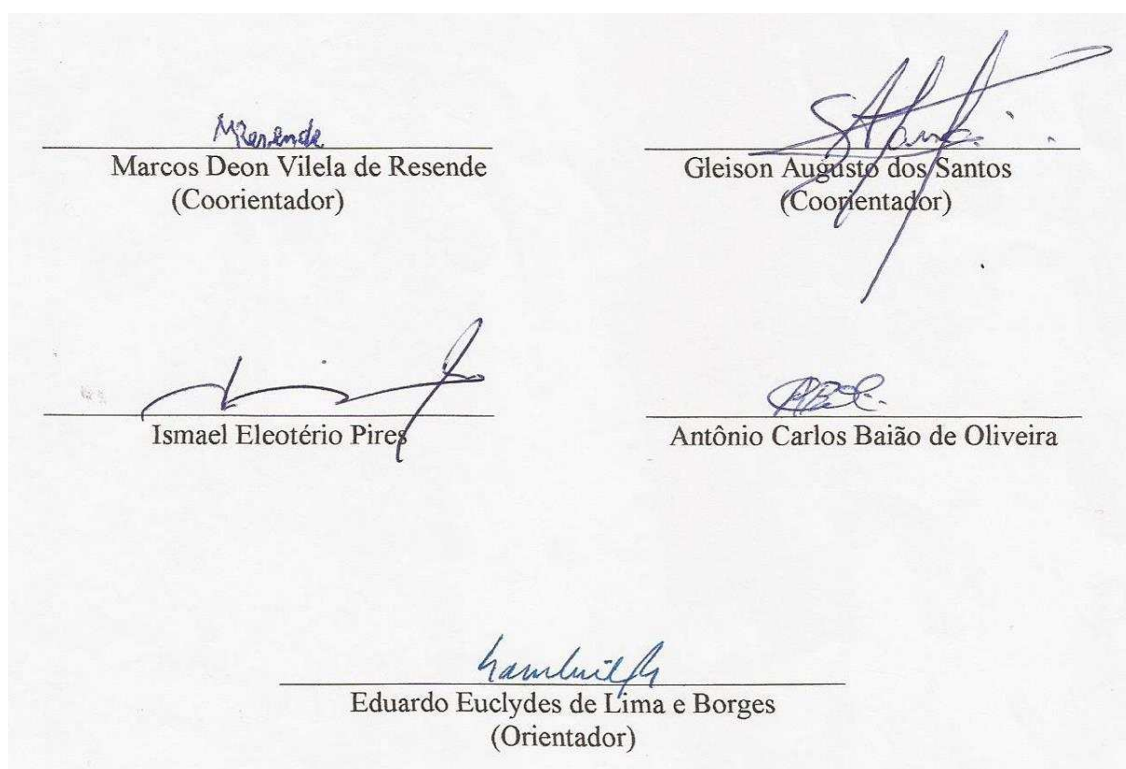
CDO adapt. CDD 22 ed. 634.91761765

BRÍGIDA MARIA DOS REIS TEIXEIRA VALENTE

**AVALIAÇÃO DE CLONES HÍBRIDOS DE *Corymbia* PARA CRESCIMENTO,  
QUALIDADE DA MADEIRA E CARVÃO VEGETAL NA REGIÃO DO RIO DOCE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 28 de julho de 2017.



The image shows five handwritten signatures, each placed above a horizontal line. Below each line is the printed name and title of the signatory. The signatures are: 1. Marcos Deon Vilela de Resende (Coorientador), 2. Gleison Augusto dos Santos (Coorientador), 3. Ismael Eleotério Pires, 4. Antônio Carlos Baião de Oliveira, and 5. Eduardo Euclides de Lima e Borges (Orientador).

\_\_\_\_\_  
Marcos Deon Vilela de Resende  
(Coorientador)

\_\_\_\_\_  
Gleison Augusto dos Santos  
(Coorientador)

\_\_\_\_\_  
Ismael Eleotério Pires

\_\_\_\_\_  
Antônio Carlos Baião de Oliveira

\_\_\_\_\_  
Eduardo Euclides de Lima e Borges  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização da Pós-graduação.

À ARCELOR MITTAL BIOFLORESTAS (AMBIO), pela concessão da base de dados que possibilitou a realização deste trabalho, especialmente a equipe de Pesquisa e Melhoramento Florestal.

À AMBIO e CMPC Celulose Riograndense, pela liberação para as atividades acadêmicas que possibilitaram a realização e conclusão desta importante etapa.

Ao Professor Eduardo Euclides de Lima e Borges, pela amizade, carinho, compreensão, incentivo e confiança depositada desde sempre para realização deste trabalho.

Ao Professor Marcos Deon Vilela de Resende, exemplo de dedicação e trabalho, pela simplicidade na tomada de uma decisão considerada tão complexa para muitos, mas que me trouxe grandes esclarecimentos.

Ao Sr. Teotônio de Assis, pela amizade, pelo carinho e pela dedicação nos ensinamentos de Melhoramento Genético Florestal, fundamentais para minha formação.

Ao Sr. Eduardo Pinheiro Henriques, pelos ensinamentos, pelo exemplo de dedicação ao trabalho e busca pelo conhecimento.

A Professora Angélica de Cássia e ao Professor Ricardo Della Lúcia pelo carinho e ensinamentos em qualidade da madeira.

Aos primeiros “culpados” de todo esse processo, Geralda Maria dos Reis Teixeira (Mãe) e Antônio Fernando Teixeira (Pai), que desde sempre me ensinaram que a busca pelo conhecimento é que conduz para o verdadeiro crescimento. Aos meus queridos irmãos Marcos, Gertrudes e Carolina que me enchem de orgulho e carinho, grandes amigos.

A Edmilson Valente da Silva, pelo grande amor, compreensão, auxílio e estímulo que tanto contribuiu para realização deste doutoramento.

A Ana Beatriz e Carlos Eduardo, que tão oportunamente nasceram durante esta fase tão importante e me fizeram mais forte, mais feliz e mais sagaz para buscar meu crescimento.

A minha amiga e comadre Gláucia Cordeiro que com toda a paciência do mundo, está sempre ao meu lado, mesmo a uma grande distância, desde o primeiro dia de graduação em Engenharia Florestal.

Ao querido amigo Chiquinho da Floresta, por todo apoio, frases motivadoras, carinho e atenção.

Aos amigos de pós-graduação Kellen, Guilherme, Eliane, Luciana, Ricardo, Marcone e Natane, por todos os momentos de risos e “discussões sadias” que fizeram com que minha estada em Viçosa fosse muito gratificante.

Aos meus colegas de trabalho na CMPC Brasil, Chile e Argentina, que alegam todos os meus dias de trabalho.

## **BIOGRAFIA**

BRÍGIDA MARIA DOS REIS TEIXEIRA VALENTE, filha de Geralda Maria dos Reis Teixeira e Antônio Fernando Teixeira, nasceu em 23 de junho de 1982, Belo Horizonte, MG.

Em março de 2001 ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa (UFV), MG, diplomando-se em maio de 2006. Nesse mesmo ano, ingressou no Curso de Mestrado em Ciências Florestais, na área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, na UFV, submetendo-se a defesa de tese em julho de 2008.

Em 2008 ingressou na ArcelorMittal Jequitinhonha atuando no Melhoramento Genético. Entre 2010 e 2016, atuou no setor de Pesquisa e Desenvolvimento Florestal na ArcelorMittal BioFlorestas, sendo responsável pela coordenação de Programa de Melhoramento Genético Florestal, Monitoramento Nutricional, Monitoramento de Pragas e Doenças e Tecnologia da Madeira.

Atualmente, é consultora em Melhoramento Florestal, atuando no Programa de Melhoramento, Biotecnologia e Qualidade da Madeira na empresa CMPC Celulose Riograndense.

Em agosto de 2013, ingressou no curso de doutorado em Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa (UFV), na área de Concentração de Silvicultura, e linha de pesquisa: Genética e Melhoramento Florestal.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS .....	4
Avaliação de clones híbridos de <i>Corymbia</i> para crescimento .....	5
RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	9
2.1. Material experimental .....	9
2.2. Metodologia experimental .....	10
2.2.1. Características avaliadas .....	10
2.2.2. Estimativas de parâmetros genéticos e estatísticas .....	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	12
4. CONCLUSÕES .....	20
REFERÊNCIAS .....	21
Avaliação de clones híbridos de <i>Corymbia</i> para características físicas, anatômicas e químicas da madeira e carvão vegetal .....	23
RESUMO .....	23
ABSTRACT .....	25
1. INTRODUÇÃO .....	26
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	28
2.1. Material experimental .....	28
2.2. Metodologia experimental .....	29
2.2.1. Preparo de amostras .....	29
2.2.2. Características avaliadas .....	29
a. Propriedades físicas da madeira .....	30
Densidade básica da madeira (Db) .....	30

b.	Propriedades anatômicas da madeira.....	30
	Relação cerne/alburno (C/A).....	30
	Análise morfológica de fibras e poros.....	31
c.	Propriedades químicas da madeira.....	32
	Composição química estrutural.....	32
d.	Carbonização da madeira.....	32
e.	Propriedades do carvão vegetal.....	33
	Densidade relativa aparente.....	33
	Poder calorífico superior (PCS).....	33
	Composição química imediata.....	34
	2.2.3. Estimativas de parâmetros genéticos e estatísticas.....	34
	2.2.4. Correlação genética entre as características analisadas.....	35
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.	CONCLUSÕES.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	Índice de seleção de produção de carvão em teste clonal de <i>Corymbia</i> .....	61
	RESUMO.....	61
	ABSTRACT.....	63
1.	INTRODUÇÃO.....	64
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	66
	2.1. Material experimental.....	66
	2.2. Metodologia experimental.....	67
	2.2.1. Características de crescimento avaliadas.....	67
	2.2.2. Características da madeira avaliadas.....	68
	2.2.3. Características do carvão avaliadas.....	69
	a. Carbonização da madeira.....	69
	2.2.4. Construção do índice de qualidade.....	70
	2.2.5. Estimativas de parâmetros genéticos e estatísticas.....	70
	2.2.6. Correlação genética entre as características analisadas.....	70

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4. CONCLUSÕES .....	80
REFERÊNCIAS .....	81
CONCLUSÕES GERAIS .....	84

## RESUMO

VALENTE, Brígida Maria dos Reis Teixeira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2017. **Avaliação de clones híbridos de *Corymbia* para crescimento, qualidade da madeira e carvão vegetal na região do Rio Doce.** Orientador: Eduardo Euclides de Lima e Borges. Coorientadores: Marcos Deon Vilela de Resende e Glêison Augusto dos Santos.

Apesar de apresentarem indivíduos de alto crescimento e alta densidade ao mesmo tempo, o desenvolvimento de clones de espécies do gênero *Corymbia*, foi descontinuado em razão do grande sucesso alcançado por outros híbridos, como *E. urophylla* x *E. grandis*. Recentemente, híbridos do gênero *Corymbia* voltaram a despertar interesse. Além do crescimento, adaptação e propriedades importantes para qualidade da madeira, apresentam alta resistência ao vento, à Seca de Ponteiros do Vale do Rio Doce e a outras doenças. Logo, foram incluídos em diversos programas de melhoramento, buscando materiais produtivos, e com resistência a fatores bióticos e abióticos. Com o objetivo de identificar clones potenciais para a região do Rio Doce, foi implantado um teste clonal com híbridos de espécies do gênero *Corymbia*. Estudou-se a variabilidade e a herdabilidade das características de crescimento, qualidade da madeira e carvão, além de ganhos genéticos e a seleção de clones potenciais para o cultivo na região do Rio Doce. Buscando auxiliar na seleção de materiais genéticos, frente ao grande número de variáveis manuseadas em um programa de melhoramento, torna-se importante avaliar a construção de um índice de seleção de fácil análise e interpretação. Construiu-se um índice de seleção (Índice de produção de carvão (PC)), que reuniu características de crescimento (Incremento médio anual (IMA,  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ )), qualidade da madeira (Densidade básica da madeira (Db,  $Kg/m^3$ )) e carvão (Rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGCV, %)). Este teste foi realizado na área Experimental da empresa ArcelorMittal BioFlorestas. O delineamento foi o de blocos ao acaso, com 18 repetições (uma planta por parcela), com tratamentos de clones de *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora* e testemunhas de clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. O espaçamento foi de 3,0 x 2,5 m e a avaliação foi realizada aos 69 meses. Houve efeitos significativos de clones para todas as características avaliadas, o que denota possibilidade de ganhos com a seleção. As estimativas de herdabilidade em nível de médias de clones foram de média a elevada magnitude. O ranking de seleção dos clones divergiu para as diferentes características em estudo. Contudo, para o programa de melhoramento genético em questão, um clone híbrido de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* se destacou em crescimento, qualidade da

madeira e carvão vegetal. Os resultados revelaram boas perspectivas para o uso comercial deste clone do gênero *Corymbia*, para este local.

## ABSTRACT

VALENTE, Brígida Maria dos Reis Teixeira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2017. **Evaluation of hybrid clones of *Corymbia* for growth, quality of wood and charcoal in the region of the Rio Doce.** Adviser: Eduardo Euclides de Lima and Borges. Co-advisers: Marcos Deon Vilela de Resende and Glêison Augusto dos Santos.

Despite the presence of high growth and high density individuals at the same time, the development of clones of species of the genus *Corymbia* was discontinued due to the great success achieved by other hybrids such as *E. urophylla* x *E. grandis*. Recently, hybrids of the genus *Corymbia* have once again aroused interest. In addition to the growth, adaptation and properties important to wood quality, they present high resistance to wind, drought of *Eucalyptus* pointers from the Vale do Rio Doce and other diseases. Therefore, they were included in several breeding programs, searching for productive materials, and with resistance to biotic and abiotic factors. In order to identify potential clones for the Rio Doce region, a clonal test was implemented with hybrids of species of the genus *Corymbia*. The variability and heritability of growth, wood quality and charcoal characteristics, as well as genetic gains and the selection of potential clones for cultivation in the Rio Doce region were studied. Aiming to assist in the selection of genetic material, in view of the large number of variables handled in an improvement program, it is important to evaluate the construction of a selection index for easy analysis and interpretation. A selection index (Coal Production Index (PC)), which met growth characteristics (average annual increment (IMA,  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ )), wood quality (Basic wood density (Db,  $\text{kg} / \text{m}^3$ )) and charcoal (Charcoal gravimetric yield (RGCV,%)). This test was carried out in the Experimental area of ArcelorMittal BioFlorestas. The experimental design was a randomized complete block design with 18 replications (one plant per plot), with treatments of *Corymbia torelliana* and *Corymbia citriodora* clones and controls of *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis* clones. The spacing was 3.0 x 2.5 m and the evaluation was performed at 69 months. There were significant effects of clones for all characteristics evaluated, which indicates possibility of gains with the selection. The estimates of heritability at medium level of clones were from medium to high magnitude. The clone selection ranking differed for the different characteristics under study. However, for the breeding program in question, a hybrid clone of *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* stood out in growth, quality of wood and charcoal. The results showed good prospects for the commercial use of this clone of the genus *Corymbia*, for this site.

## INTRODUÇÃO GERAL

As florestas plantadas com finalidade industrial chegaram aos 7,8 milhões de hectares em 2015, o que representa um crescimento de 0,8% em relação ao ano de 2014. Os plantios de eucalipto ocupam 5,6 milhões de hectares da área de árvores plantadas do País e estão localizados, principalmente, em Minas Gerais (24%), em São Paulo (17%) e no Mato Grosso do Sul (15%). Nos últimos cinco anos, o crescimento da área de eucalipto foi de 2,8% a.a. Da área total de 7,8 milhões de hectares de árvores plantadas no Brasil em 2015, 14% pertence às empresas do segmento de siderurgia a carvão vegetal (IBÁ, 2016).

A ampliação da utilização do carvão vegetal, proveniente de florestas plantadas, possui vantagens ambientais, visto que a sua utilização é alternativa aos combustíveis fósseis, atuando, assim, na redução das emissões dos gases de efeito estufa na siderurgia brasileira, além de diminuir a pressão sobre as florestas nativas, ajudando, assim, em sua conservação, porém apesar dessas importantes vantagens do carvão vegetal, a heterogeneidade química, física e mecânica afetam, consideravelmente, sua performance nos altos fornos siderúrgicos.

As empresas do setor florestal para aumentar sua produtividade, além de investir em pacotes tecnológicos operacionais, buscam agregar valor e qualidade, investindo em Programas de Melhoramento Genético Florestal: contínuos, técnicos, científicos e conduzidos por equipes altamente qualificadas.

O melhoramento genético florestal visa o aumento da produtividade, adequação da matéria prima ao produto final, melhoria nas condições adaptativas, tais como capacidade de florescimento e produção de frutos e sementes, resistência a pragas e doenças e, principalmente, a manutenção da variabilidade genética (PIGATO & LOPES, 2001). A correta definição dos objetivos para seleção e, conseqüentemente a direção do melhoramento é o quesito primordial para o sucesso tanto em ganho imediato quanto em longo prazo.

Além da produtividade volumétrica, as propriedades tecnológicas da madeira são características essenciais nos programas de melhoramento genéticos atuais. Para a produção de carvão vegetal, o melhoramento visa ao aumento da produtividade em carbono por hectare. Essa variável é um caráter relacionado ao volume, à densidade da madeira e ao rendimento gravimétrico (GOMIDE et al., 2005; CASTRO et al., 2013). Além dessas características, a resistência mecânica do carvão e a granulometria são importantes no seu uso industrial.

Os programas de melhoramento de *Eucalyptus* e *Corymbia*, atuais, passaram a manusear um número grande de variáveis: produtividade, qualidade da madeira, qualidade do produto final, melhoria nas condições adaptativas, resistência a pragas e doenças. Desta forma a seleção de um material genético passa por várias de análises, podendo algumas vezes apresentar divergências no ranking de seleção. Nesse caso, o uso de índice de seleção pode auxiliar na escolha dos melhores clones e/ou progênies.

A expansão de cultivo para regiões não tradicionais, a busca por adequação da matéria prima para as várias finalidades e resistência a pragas e doenças têm levado a inclusão de espécies não usuais nos programas de melhoramento genético. As espécies do gênero *Corymbia*, como *C. citriodora*, *C. torelliana*, *C. maculata*, *C. nesophila*, e seus híbridos interespecíficos, atualmente estão sendo estudadas em diversos programas, com o objetivo de obter materiais produtivos e com resistência a fatores bióticos e abióticos (VALENTE, 2015).

Seu crescimento como espécies puras encontra-se em nível inferior ao da maioria das espécies de eucalipto utilizadas comercialmente no Brasil. Segundo Assis (2014), essa tem sido a razão para o baixo nível de utilização comercial dessas espécies. Contudo, os híbridos entre espécies de *Corymbia* apresentam grande potencial para utilização como matéria prima para carvão, madeira serrada, energia, postes, madeira tratada e celulose.

O interesse das empresas florestais por estas espécies é justificado pela qualidade de sua madeira, adequada a distintas finalidades e a resistência a pragas e doenças. As espécies do gênero *Corymbia* são resistentes a diversas doenças, tais como, *Cryphonectria cubensis* - Cancro (*C. citriodora* e *C. torelliana*) e *Puccinia psidii* – Ferrugem (*C. citriodora* e *C. torelliana*), segundo Alfenas et al. (2009). Além do crescimento e adaptação, híbridos deste gênero apresentam alta resistência ao vento e à Seca de Ponteiros do Vale de Eucalipto do Rio Doce SPERVD, de acordo com Resende et al. (2014). Relata-se ainda que os principais insetos que causam danos às plantações de eucalipto no Brasil (*Glycaspis brimblecombei*, *Thaumastocoris peregrinus* e *Leptocybe invasa*) não têm sido observados injuriando híbridos de *Corymbia*.

Esses cruzamentos, ainda pouco explorados comercialmente, têm potencial para se tornarem importantes dentro dos programas de produção de celulose e outros produtos obtidos do eucalipto. A maioria das espécies apresenta densidade da madeira acima de 600 kg/m<sup>3</sup> aos 7 anos, por essa razão, sua madeira tem sido muito valorizada, sobretudo com o aumento do interesse na produção de energia de biomassa (ASSIS, 2011).

Com uma nova abordagem, a empresa de carvão vegetal colaboradora neste estudo, vêm prospectando o uso destas espécies no melhoramento, com possibilidade de agregar produtividade, qualidade da madeira para carvão vegetal e resistência aos fatores bióticos e abióticos. Esta empresa possui áreas na região do Vale do Rio Doce, local onde foi relatada e estudada a SPERVD, e aposta no uso de híbridos com *Corymbia torelliana*, resistente a doença, para aumentar sua competitividade produtiva.

Existem várias metodologias que apresentam vantagens e desvantagens para a construção de índice de seleção. Neste trabalho buscou-se construir um índice de produção de carvão vegetal, envolvendo crescimento, qualidade da madeira e qualidade de carvão que possibilitaria a seleção focada no potencial final de cada material genético

Neste sentido, este trabalho avaliou clones híbridos entre as espécies *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora*, em um teste clonal, na região do Vale do Rio doce, Dionísio, Minas Gerais.

No primeiro artigo foram avaliados caracteres de crescimento, o segundo abordou a qualidade da madeira e do carvão vegetal, e, no terceiro foi construído um índice de seleção para a produção de carvão. Foram estudadas as variáveis genéticas, o ranking, do ganho com a seleção e as correlações genéticas.

## REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de, **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009. 500 p.
- ASSIS, T. F. Melhoria genética de *Eucalyptus*: Desafios e perspectivas. **3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**. 2014.
- ASSIS, Teotônio Francisco. Hybrids and mini-cutting: a powerful combination that has revolutionized the *Eucalyptus* clonal forestry. In: **BMC Proceedings**. BioMed Central, 2011. p. 118.
- CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 627-635, 2013.
- GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.
- IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário Estatístico IBÁ 2016**. Brasília, 2016. 96 p.
- PIGATO, S. M. P. C.; LOPES, C. R. Avaliação da variabilidade genética em quatro gerações de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake por meio de marcador molecular RAPD. **Scientia Florestalis**, n. 60, p. 119-133, 2001.
- RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D.; PIRES, I. E. Genética e Melhoria do Eucalipto. In: VALE, A. B.; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. P. **Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. MG: SIF, 2014. Cap. 5, p. 103-115.
- VALENTE, B. M. R. T. Clones de eucalipto. A tendência das tecnologias florestais **Revista Opiniões**. pg 31. 56 Set-Nov 2015 – 41.

### **Avaliação de clones híbridos de *Corymbia* para crescimento**

#### **RESUMO**

As espécies do gênero *Corymbia* e seus híbridos interespecíficos atualmente estão sendo incluídos em diversos programas de melhoramento, buscando materiais produtivos e com resistência a fatores bióticos e abióticos. Com o objetivo de identificar clones potenciais para a região do Rio Doce, foi implantado um teste clonal com híbridos de espécies do gênero *Corymbia*. Estudou-se a variabilidade, a herdabilidade e o ganho genético das características DAP (Diâmetro a Altura do Peito), Alt (Altura total da árvore), IMA (Incremento Médio Anual) e SOB (Sobrevivência), o que possibilitou identificar os clones potenciais para o cultivo na região do Rio Doce. Este teste foi realizado na área experimental da empresa ArcelorMittal BioFlorestas. O delineamento foi o de blocos ao acaso, com 18 repetições (uma planta por parcela) e 20 tratamentos (13 clones híbridos de *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora*; um clone de *Corymbia citriodora* e 06 clones de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*). O espaçamento foi de 3,0 x 2,5 m e a avaliação foi realizada aos 69 meses. As variáveis analisadas, em campo, foram: circunferência a altura do peito (CAP), em centímetros, altura (Alt), em metros e sobrevivência. Foram calculados o DAP, em centímetros; o volume de madeira (VOL), em metros cúbicos; e o IMA, em metros cúbicos/hectare/ano. Houve efeitos significativos de clones para todas as características avaliadas, o que denota possibilidade de ganhos com a seleção. As estimativas de herdabilidade em nível de médias de clones foram de elevada magnitude. O ranking de seleção dos clones divergiu para as diferentes características em estudo. Contudo, para o programa de melhoramento genético em questão torna-se de maior importância indicar o clone 8COR, que apresentou o melhor resultado entre os clones de *Corymbia* testados, apresentando a terceira colocação no ranking geral para IMA, com valor genotípico de 30,26 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, representando um ganho individual em relação à população de 30,82%. Os

resultados revelaram boas perspectivas para o uso comercial futuro de clones do gênero *Corymbia*, para este local.

**Palavras-chave:** Melhoramento florestal; seleção de clones; desempenho silvicultural.

## ABSTRACT

Species of the genus *Corymbia* and its interspecific hybrids are currently being included in several breeding programs, searching for productive materials and resistance to biotic and abiotic factors. In order to identify potential clones for the Rio Doce region, a clonal test was implemented with hybrids of species of the genus *Corymbia*. The variability and heritability of the DAP (Height-to-Chest), Alt (Total Tree Height) and IMA (Annual Mean Increment) characteristics were studied, as well as genetic gains and identified potential clones for cultivation in the Rio Doce region. This test was carried out in the experimental area of ArcelorMittal BioFlorestas. The experimental design was a randomized block design with 18 replicates (one plant per plot) and 13 treatments (12 hybrid clones of *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* and one clone of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). The spacing was 3.0 x 2.5 m and the evaluation was performed at 69 months. The variables analyzed in the field were: circumference of the chest (CAP), in centimeters and height (Alt), in meters. The DAP was calculated in centimeters; the volume of wood (VOL), in cubic meters; and the IMA, in cubic meters / hectare / year. There were significant effects of clones for all characteristics evaluated, which indicates possibility of gains with the selection. The estimates of heritability at the level of clone averages were of magnitude elution. The clone selection ranking differed for the different characteristics under study. However, for the genetic breeding program in question, it is of greater importance to indicate the 8COR clone, which presented the best result among the tested *Corymbia* clones, ranking third in the general IMA ranking, with a genotypic value of 30.26 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, representing an individual gain in relation to the population of 30.82%. The results revealed good prospects for future commercial use of clones of the genus *Corymbia* for this site.

**Keywords:** Forest improvement; selection of clones; silvicultural performance.

## 1. INTRODUÇÃO

O melhoramento genético florestal visa o aumento da produtividade, adequação da matéria prima ao produto final, melhoria nas condições adaptativas, tais como, a capacidade de florescimento e a produção de frutos e de sementes, a resistência a pragas e as doenças e, principalmente, a manutenção da variabilidade genética (PIGATO & LOPES, 2001). A correta definição dos objetivos para seleção e, conseqüentemente, a direção do melhoramento é o quesito primordial para o sucesso, tanto em ganho imediato quanto ao longo prazo.

O estudo da herdabilidade dos caracteres e suas correlações possibilitam a obtenção de informações sobre a natureza da ação gênica envolvida na herança dos caracteres e se prestam para avaliação do progresso (ganho genético) esperado na seleção, além de contribuir para a definição do método de seleção a ser adotado (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992).

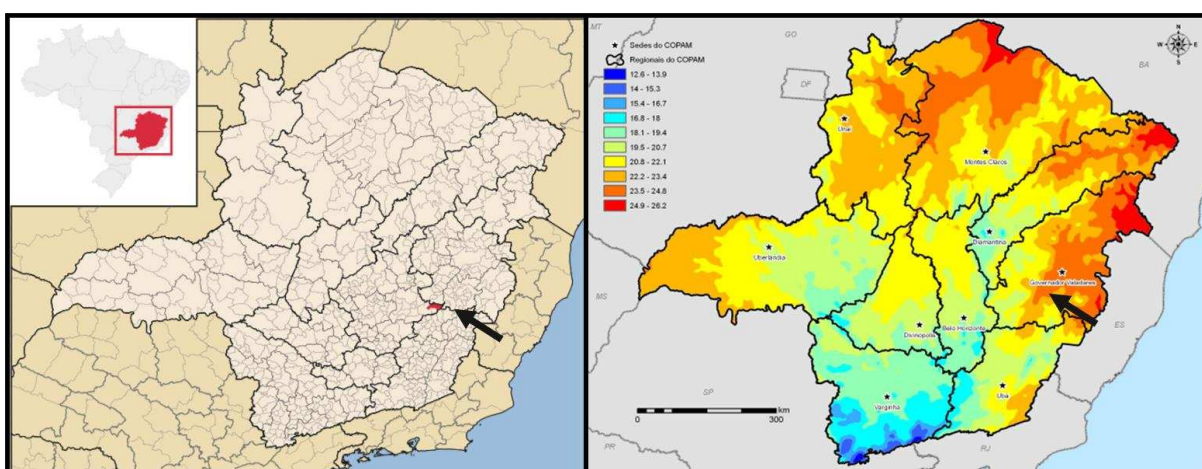
A expansão de cultivo para regiões não tradicionais, a busca por adequação da matéria prima para as várias finalidades e resistência a pragas e doenças têm levado a inclusão de espécies não usuais nos programas de melhoramento genético. As espécies do gênero *Corymbia*, como *C. citriodora*, *C. torelliana*, *C. maculata*, *C. nesophila*, e seus híbridos interespecíficos, atualmente estão sendo estudadas em diversos programas, com o objetivo de obter materiais produtivos e com resistência a fatores bióticos e abióticos (VALENTE, 2015).

Segundo Assis (2014), os híbridos entre espécies de *Corymbia* apresentam grande potencial para utilização como matéria prima para carvão, madeira serrada, energia, postes, madeira tratada e celulose. Entretanto, apesar desse grande potencial, esses cruzamentos ainda são pouco explorados comercialmente. Assim, este trabalho teve como objetivo realizar a avaliação genética de clones de híbridos de espécies do gênero *Corymbia*. De forma específica, estudou-se a variabilidade e a herdabilidade das características DAP (diâmetro a altura do peito), Alt (altura total da árvore), IMA (incremento médio anual) e SOB (sobrevivência), e identificou os clones potenciais para o cultivo na região do Rio Doce, em Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material experimental

O estudo foi realizado na ArcelorMittal BioFlorestas, empresa pertencente ao Grupo ArcelorMittal, no Município de Dionísio, Minas Gerais. O local apresentou precipitação média anual de 1193,0 mm, umidade relativa 73%, temperatura média de 21,3° C (Max: 28,9° C, Min: 13,0° C), altitude de 350 m e vegetação típica de mata atlântica. (Figura 1)



**Figura 1.** Localização de Dionísio, em Minas Gerais. Mapa com divisões regionais e Mapa das classes de temperatura média anual (°C) para o Estado de Minas Gerais. Fonte: o autor.

A implantação foi realizada em 20 de novembro de 2008 e a análise realizada em agosto de 2014, ou seja, após 69 meses de idade. Os materiais foram plantados em latossolo vermelho amarelo, no espaçamento de 3,0 x 2,5 m. Foram avaliados 13 clones híbridos de espécies do gênero *Corymbia*, um clone de *Corymbia citriodora* e seis clones do gênero *Eucalyptus*, conforme apresentado na tabela 1.

O desempenho silvicultural destes clones foi avaliado em teste clonal no delineamento de blocos ao acaso, com 18 repetições em parcelas de planta única (single tree plot). As mudas utilizadas foram produzidas por miniestaquia e conduzidas seguindo o manejo de um viveiro clonal. O preparo de solo, manutenção, dosagem de fertilizantes e época de aplicação, seguiram os métodos utilizados nos plantios comerciais. A recomendação de adubação contou com a aplicação: pré-plantio 2000 kg/ha de Agrosilício; no plantio Basifós Forest 0,3% de B + 0,2% de Zn + 0,2% de Cu, 440 kg/ha; primeira cobertura aos 6 meses NPK 180018 + 1% de

B + 4% de S, 170 kg /ha; segunda cobertura 1 ano NPK 150030 + 0,7% de B + 6% de S, 210 kg/ha; e terceira cobertura no 2 ano NPK 150030 + 0,7% de B + 6% de S, 210 kg/ha.

Tabela 1 – Identificação dos clones dos gêneros *Corymbia* e *Eucalyptus* avaliados no teste clonal.

<b>Identificação</b>	<b>Material Genético</b>	<b>Empresa</b>
01 COR	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa1
02 COR	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa1
03 COR	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa1
04 COR	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa1
05 COR	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa1
06 COR	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa1
07 COR	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa1
08 COR	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa1
09 COR	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa1
10 COR	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa1
11 COR	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa1
12 COR	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa1
13 COR	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa1
14 COR	<i>Corymbia citriodora</i>	Empresa1
01 TEST	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Empresa2
02 TEST	<i>Eucalyptus grandis</i>	Empresa3
03 TEST	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Empresa4
04 TEST	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Empresa2
05 TEST	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Empresa3
06 TEST	<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	Empresa4

## 2.2. Metodologia experimental

### 2.2.1. Características avaliadas

Aos 69 meses de idade do teste clonal foram mensurados o CAP (circunferência a altura do peito (1,30 metros) e a Alt (altura total) de cada indivíduo de todas as repetições, com o auxílio de uma fita diamétrica e do clinômetro, respectivamente. Foi calculado o DAP em centímetros, o Volume e o IMA.

$$DAP = Cap / \pi$$

$$Vol\ da\ árvore = f \times \left( \pi \times \left( \frac{CAP}{\pi} \right)^2 \right) \times Alt$$

$$IMA = \frac{Vol/ha}{Idade}$$

Sendo, o  $f$  (fator de forma) igual a 0,5; Idade igual a 5,75 anos (69 meses);  $\pi$  igual 3,1416.

A sobrevivência foi obtida registrando-se 1 (um) para a presença e 0 (zero) para a ausência do indivíduo, em cada repetição.

Variáveis e abreviações utilizadas:

Variável	Abreviação
Diâmetro a altura do peito (cm)	DAP
Altura total da árvore (m)	Alt
Incremento médio anual (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano)	IMA
Sobrevivência	SOB

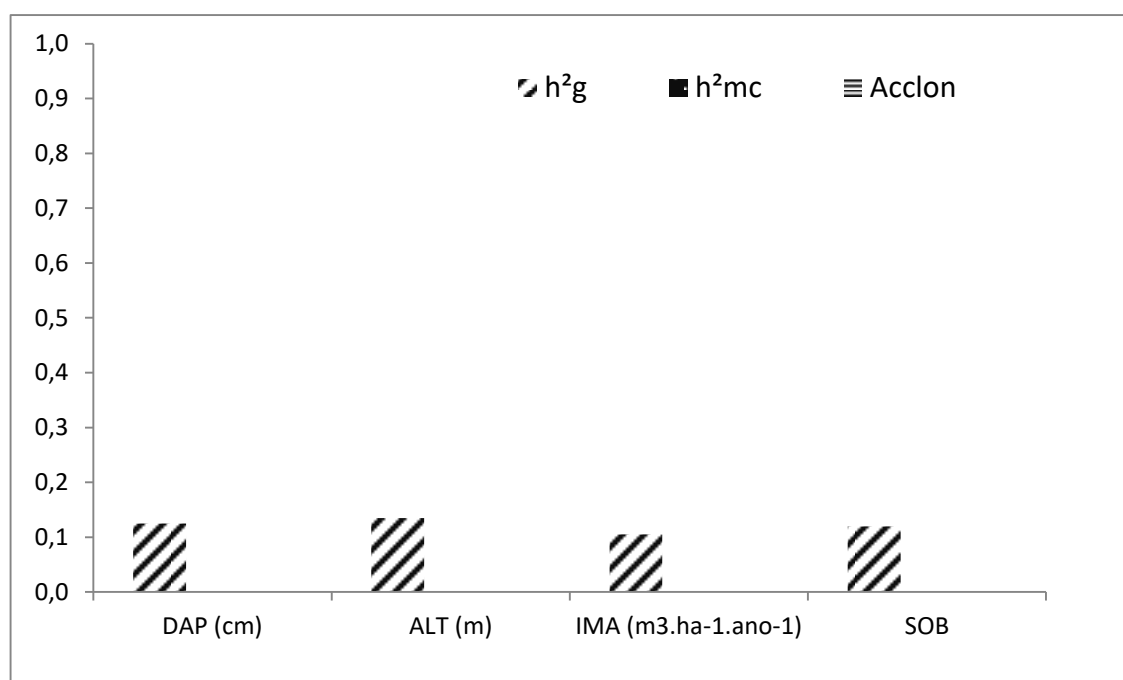
## 2.2.2. Estimativas de parâmetros genéticos e estatísticas

O modelo estatístico utilizado foi  $y = Xr + Zg + e$ , em que  $y$  é o vetor de dados,  $r$  é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral,  $g$  é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), “ $e$ ” é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Seguiu-se o preparo adequado dos dados e os passos habituais para uso do software SELEGEN REML/BLUP na versão de Junho de 2014, onde as análises foram realizadas pelo procedimento de estimação de componentes de variância (Reml) e de predição de valores genéticos (Blup).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a avaliação realizada, as herdabilidades para as médias dos clones em relação as características foram significativas pelo teste de razão de verossimilhança, a 5% de significância, e de elevada magnitude. As herdabilidades variaram de 0,68 a 0,74, conduzindo a altas acurácias na seleção de clones para o local em estudo, e indicando expressivo controle genético para as características DAP, Alt, IMA e SOB. (Figura 1).

Como importantes direcionadores dos programas de melhoramento genético, as estimativas dos parâmetros genéticos, auxiliam o processo seletivo e servem como referencial teórico para suporte às recomendações dos materiais comerciais (MAIA et al., 2009).



**Figura 2.** Estimativas dos parâmetros genéticos (REML individual), para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP, cm), altura total (Alt, m), incremento médio anual (IMA, m³.ha⁻¹.ano⁻¹) e sobrevivência (SOB), aos 69 meses, referente ao teste clonal. h²g : Coeficiente de herdabilidade individual no sentido amplo; Acclon: Acurácia genética na seleção de clones; h²mc: Herdabilidade da média de clones.

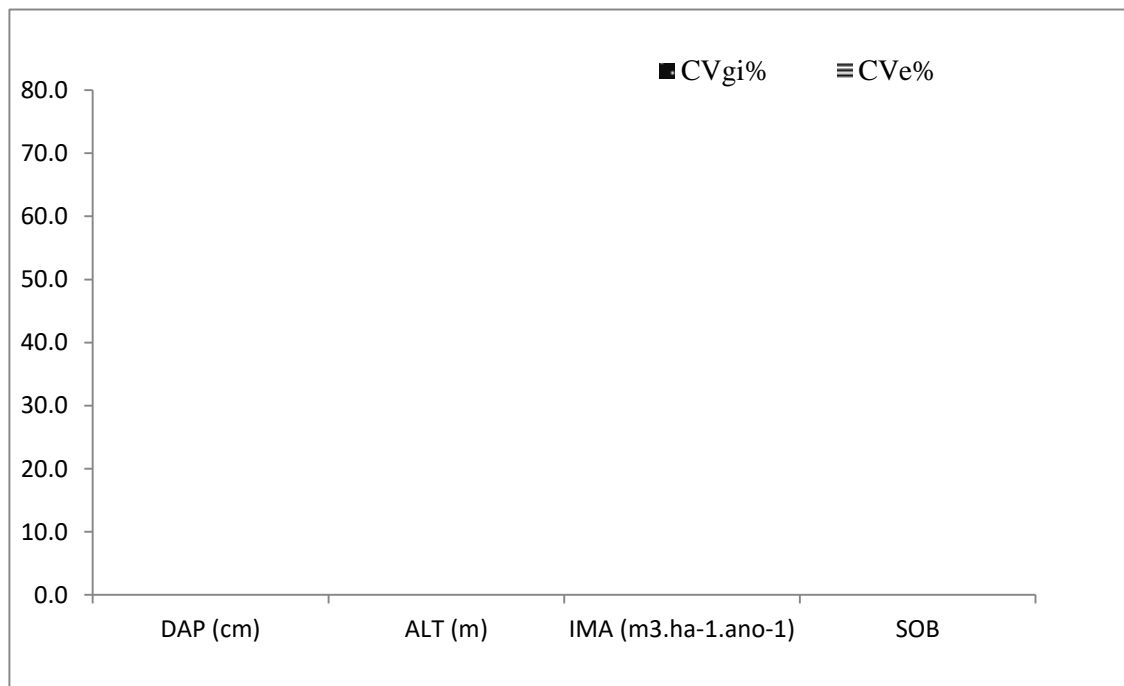
As estimativas de herdabilidade em nível de médias de clones, apresentadas na Figura 2, estão próximas aos valores encontradas por Rosado et al. (2012), em análise de 21 clones de espécies do gênero *Eucalyptus*, objetivando a seleção simultânea, 0,86 para DAP e 0,77 para Alt. Reis et al. (2013), em análise de clones de diversas espécies do gênero *Eucalyptus*,

com objetivo de identificar clones potenciais para o estado do Mato Grosso, encontraram valores de herdabilidade em torno de 0,80 para volume de madeira. Tolfo et al. (2005), estimando parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, produção e tecnológicos de 25 clones de *Eucalyptus* spp., em teste clonal, indicou que os parâmetros estudados apresentaram altas estimativas de herdabilidade ( $h^2 > 0,67$ ).

A herdabilidade é um dos mais importantes parâmetros genéticos, pois quantifica a fração da variação fenotípica de natureza herdável, passível de ser explorada na seleção. A herdabilidade da média de genótipos ( $h^2_{mg}$ ) é estimada quando se usam médias como unidade de avaliação/seleção. Neste caso, atinge-se nível significativo de precisão em razão da diminuição dos erros médios experimentais pelo incremento proporcional do número de repetições.

Segundo Resende (2002), os valores genéticos aditivos preditos não são iguais aos valores genéticos verdadeiros. A proximidade entre estes dois valores pode ser avaliada com base na acurácia, a qual se refere à correlação entre os valores genéticos preditos e os valores genéticos verdadeiros. Considerando as características em estudo, no geral, as acurácias seletivas encontradas foram altas, com valores variando entre 0,82 a 0,85. O IMA apresentou o menor valor 0,82, ainda assim, considerado alto conforme classificação de Resende & Duarte (2007). Os parâmetros DAP e Alt apresentaram as melhores acurácias 0,84 e 0,85; sendo seguidos pela SOB com 0,84. Todos os caracteres apresentaram índices elevados de acurácia, demonstrando boa qualidade experimental. (Figura 2).

A SOB e o IMA apresentaram os maiores coeficientes de variação genotípica ( $CV_{gi}$ ), 27,51% e 25,58%, respectivamente, como pode ser observado na Figura 03. Mesmo para os demais caracteres a variação genética pode ser considerada boa, sinalizando a presença de variabilidade genética que possibilitará a seleção entre os clones. Dias (2013), avaliando 238 clones de *Pinus taeda*, em teste clonal, encontrou coeficientes de variação genotípicas superiores para volume, acima de 20% para todas as idades avaliadas, e constatou a possibilidade de seleção clonal para esta característica. Paula et al. (2002), avaliando diferentes critérios de seleção em seis características de crescimento em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis*, concluiu que a grande variabilidade genética, em geral inerente aos materiais genéticos utilizados na área florestal, possibilita boas perspectivas de melhoramento pela seleção direta e indireta.



**Figura 3.** Estimativas dos parâmetros genéticos (REML individual), para os caracteres diâmetro a altura do peito (DAP, cm), altura total (Alt, m), incremento médio anual (IMA, m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) e sobrevivência (SOB), aos 69 meses, referente ao teste clonal. CVgi%: coeficiente de variação genotípica; CVe%: coeficiente de variação residual; CVr: coeficiente de variação relativa.

Devido as estimativas obtidas terem sido elevadas, fica evidente a existência de variação genética entre os clones, o que permite inferir que há boas chances de sucesso na seleção quanto aos quatro caracteres.

Garcia & Nogueira (2005), avaliando o uso da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto, encontraram parâmetros genéticos com magnitudes similares, o que indica que o arranjo experimental foi adequado para controlar os efeitos ambientais e estimar adequadamente os valores genéticos dos caracteres avaliados.

Os valores genotípicos (VG) de cada clone foram obtidos somando-se cada efeito genotípico à média geral do experimento. O ganho genético equivale à média dos efeitos genéticos preditos para os clones selecionados. A média geral somada ao ganho genético resulta na média da população melhorada.

O maior ganho genético em relação à média da população para o DAP foi da ordem de 15,95% da testemunha 05TEST, seguida pelo pelo clone 08 COR com o valor de 15,92%. O ganho genético em relação à média das testemunhas para o melhor clone de *Corymbia*, 08 COR, foi de 8,40%. Podemos observar na Tabela 2, que dois clones do gênero *Corymbia*

apresentaram valor genotípico para estarem entre os cinco melhores clones para o DAP, além do 08 COR, o 05 COR com com ganho individual em relação a população de 8,04%.

Tabela 2 – Ganho com seleção para o caráter diâmetro a altura do peito (DAP, cm), aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média das testemunhas (%)
1	05 TEST	15,16	2,08	15,95	8,43
2	08 COR	15,16	2,08	15,92	8,40
3	03 TEST	14,55	1,47	11,27	4,05
4	01 TEST	14,24	1,17	8,92	1,86
5	05 COR	14,13	1,05	8,04	1,03
6	02 TEST	13,92	0,85	6,50	-0,41
7	06 TEST	13,51	0,43	3,33	-3,37
8	04 COR	13,34	0,27	2,06	-4,56
9	01 COR	13,10	0,02	0,19	-6,31
10	11 COR	12,96	-0,12	-0,91	-7,34
11	07 COR	12,82	-0,26	-1,99	-8,35
12	04 TEST	12,51	-0,57	-4,34	-10,55
13	09 COR	12,51	-0,57	-4,36	-10,56
14	10 COR	12,36	-0,72	-5,49	-11,62
15	12 COR	12,11	-0,97	-7,40	-13,41
16	06 COR	12,10	-0,98	-7,45	-13,46
17	02 COR	11,52	-1,55	-11,86	-17,58
18	03 COR	11,41	-1,67	-12,77	-18,43
19	13 COR	11,05	-2,03	-15,52	-21,00
			Média da população: 13,08		
			Média das testemunhas: 13,98		

VG: Valores genotípicos.

O maior ganho genético em relação à média geral do experimento para altura (Alt) foi da testemunha 05 TEST com 11,4%. Para o caráter ALT, pode-se observar que todos os clones de *Corymbia* apresentaram resultados inferiores às testemunhas. O clone de *Corymbia*, melhor classificado, o 05 COR, apresentou ganho individual em relação a população de 3,2%, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Ganho com seleção para o caráter altura total da árvore (Alt, m), aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média das testemunhas (%)
1	05 TEST	17,89	1,83	11,40	3,93
2	03 TEST	17,88	1,83	11,38	3,91
3	01 TEST	17,86	1,80	11,24	3,78
4	02 TEST	17,09	1,03	6,42	-0,72
5	06 TEST	16,98	0,93	5,76	-1,33
6	05 COR	16,57	0,51	3,20	-3,72
7	08 COR	16,56	0,50	3,13	-3,78
8	11 COR	16,25	0,19	1,21	-5,57
9	01 COR	15,87	-0,18	-1,13	-7,76
10	04 COR	15,82	-0,23	-1,44	-8,05
11	06 COR	15,70	-0,36	-2,23	-8,78
12	07 COR	15,59	-0,47	-2,93	-9,44
13	04 TEST	15,56	-0,49	-3,08	-9,58
14	09 COR	15,53	-0,53	-3,27	-9,76
15	12 COR	15,41	-0,64	-4,00	-10,44
16	10 COR	15,37	-0,69	-4,29	-10,71
17	03 COR	14,92	-1,14	-7,10	-13,33
18	02 COR	14,44	-1,62	-10,07	-16,10
19	13 COR	13,78	-2,28	-14,21	-19,96
-----					
Média da população: 16,06					
-----					
Média das testemunhas: 17,21					
-----					

VG: Valores genotípicos.

A testemunha 05 TEST apresentou o maior ganho genético em relação à média geral do experimento para IMA, 33,79%. O clone 08 COR apresentou o melhor ganho genético dentre os Corymbias avaliados, com 30,82% (Tabela 4). O ganho genético em relação à média da testemunha, para o clone 08 COR foi de 4,85% para a seleção para IMA.

Observou-se, para o caráter IMA, uma grande diferença entre os três primeiros colocados no ranking, 05 TEST, 03 TEST e 08COR, em relação aos demais clones, que passam a apresentar uma diferença negativa para ganho genético em relação à média das testemunhas.

Tabela 4 - Ganho com seleção para o caráter incremento médio anual (IMA, m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média das testemunhas (%)
1	05 TEST	30,95	7,82	33,79	7,23
2	03 TEST	30,63	7,50	32,41	6,13
3	08 COR	30,26	7,13	30,82	4,85
4	01 TEST	28,62	5,49	23,73	-0,83
5	02 TEST	26,27	3,13	13,55	-8,99
6	05 COR	26,15	3,02	13,04	-9,40
7	06 TEST	23,62	0,49	2,11	-18,16
8	04 COR	21,97	-1,17	-5,04	-23,89
9	01 COR	21,89	-1,25	-5,39	-24,17
10	11 COR	21,47	-1,66	-7,18	-25,60
11	07 COR	21,36	-1,78	-7,68	-26,01
12	09 COR	21,19	-1,94	-8,40	-26,58
13	04 TEST	21,09	-2,05	-8,85	-26,94
14	06 COR	20,94	-2,20	-9,49	-27,45
15	13 COR	19,55	-3,58	-15,48	-32,26
16	12 COR	19,31	-3,83	-16,55	-33,11
17	10 COR	18,63	-4,51	-19,48	-35,46
18	02 COR	18,46	-4,68	-20,21	-36,05
19	03 COR	17,20	-5,94	-25,67	-40,42
			Média da população: 23,14		
			Média das testemunhas: 28,86		

VG: valores genotípicos.

Uma das causas para a maioria dos clones de *Corymbia* testados apresentarem desempenho relativo inferior aos das testemunhas deve-se ao fato das condições edafoclimáticas serem diferentes entre o local de origem e seleção, e, o local do experimento. Os clones testados tiveram sua origem e seleção na região do Norte de Minas Gerais (região quente, inverno seco, verão quente, menor precipitação, menor umidade) e o teste foi implantado na região do Vale do Rio Doce (região quente, inverno seco, verão ameno, maior precipitação e maior umidade).

O interesse pela análise de desempenho e adaptação destes clones nesta região surgiu pela possibilidade de resistência a Seca de Ponteiro do Vale do Rio Doce (SPVRD), possibilitada pela presença da espécie *Corymbia torelliana* nos híbridos, citada por Assis (2014) como fonte de resistência a esta doença, além da possibilidade de agregar qualidade da

madeira para o produto em questão, carvão vegetal, por possibilitar melhoria em densidade, também comentada pelo mesmo autor. Desta forma torna-se estratégico analisar também a sobrevivência no experimento, conforme tabela 05.

Tabela 5 - Ganho com seleção para o caráter sobrevivência (SOB), aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média das testemunhas (%)
1	06 TEST	0,76	0,17	28,29	8,38
2	10 COR	0,76	0,17	28,29	8,38
3	02 TEST	0,73	0,13	21,67	2,80
4	04 TEST	0,73	0,13	21,67	2,80
5	01 TEST	0,73	0,13	21,67	2,80
6	08 COR	0,73	0,13	21,67	2,80
7	11 COR	0,73	0,13	21,67	2,80
8	02 COR	0,69	0,09	15,05	-2,80
9	03 TEST	0,65	0,05	8,43	-8,39
10	05 TEST	0,65	0,05	8,43	-8,39
11	07 COR	0,61	0,01	1,82	-13,98
12	04 COR	0,57	-0,03	-4,79	-19,56
13	05 COR	0,57	-0,03	-4,79	-19,56
14	03 COR	0,49	-0,11	-18,03	-30,75
15	06 COR	0,49	-0,11	-18,03	-30,75
16	09 COR	0,45	-0,15	-24,65	-36,34
17	13 COR	0,45	-0,15	-24,65	-36,34
18	12 COR	0,45	-0,15	-24,65	-36,34
19	01 COR	0,41	-0,19	-31,27	-41,94
20	14 COR	0,31	-0,28	-47,77	-55,87
			Média da população: 0,60		
			Média das testemunhas: 0,71		

Para SOB, observamos que os materiais que apresentaram destaque foram o 06 TEST e o 10 COR, ambos com o melhor ganho genético em relação a população 28,29%. Importante observar que ambos não estão entre os cinco primeiros colocados nos demais caracteres estudados. Observa-se que dos seis primeiros colocados para SOB apenas dois clones são destaques para os demais quesitos avaliados, são eles: a testemunha 01 TEST (terceiro colocado para ALT) e o clone 08 COR (segundo colocado para DAP e terceiro colocado para IMA), neste caso podemos argumentar que o 08 COR, o melhor clone de *Corymbia*, nos quesitos avaliados, deve ser considerado importante para futuras análises.

A instalação deste teste neste local e a obtenção dessas estimativas possibilitam a avaliação do real impacto de seleção e asseguram certo grau de confiabilidade na futura recomendação. Segundo Pires et al. (2011), a seleção de material genético superior é fundamental para alcançar elevada produtividade da plantação, para que estes ganhos sejam maximizados, é preciso proceder-se a caracterização dos genótipos nos seus aspectos produtivos e tecnológicos, sendo importante proceder a caracterização completa dos materiais.

#### 4. CONCLUSÕES

As herdabilidades de características para as médias dos clones foram de elevada magnitude, conduzindo a altas acurácias na seleção de clones.

O IMA apresentou o maior coeficiente de variação genotípica, sinalizando a presença de variabilidade genética que possibilita a seleção entre clones.

Dentre os clones de *Corymbias*, clone 08 COR apresentou o melhor desempenho para os caracteres DAP e IMA. Neste caso, sugere-se a inclusão deste material em testes para novas fases de seleção, com grande possibilidade de uso futuro comercial para os quesitos avaliados.

Os resultados revelaram boas perspectivas para o uso comercial futuro de clones do gênero *Corymbia*, para este local. Logo, sugere-se a persistência de hibridação entre estas espécies, considerando que a seleção de parentais na região e o desenvolvimento de testes e seleção no local, favorecerá a obtenção de materiais mais adaptados e com melhores resultados.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, T. F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: Desafios e perspectivas. **3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**. 2014.
- DIAS, P. C. **Avaliação genética de clones de *Pinus taeda* propagados via embriogênese somática**. 2013. 88 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- GARCIA, C.H.; NOGUEIRA, M.C.S. Utilização da metodologia REML/BLUP na seleção de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.68, p.107-112, 2005.
- MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. B. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p. 43-50, 2009.
- PAULA, C.; PIRES, I. E.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 2, p. 159-165, 2002.
- PIGATO, S. M. P. C.; LOPES, C. R. Avaliação da variabilidade genética em quatro gerações de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake por meio de marcador molecular RAPD. **Scientia Forestalis**, n. 60, p. 119-133, 2001.
- PIRES, E. I.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESENDE JUNIOR, M. F. R. **Genética florestal**. Viçosa, MG: Arka, 2011. 318 p.
- REIS, C. A. F.; SANTOS, P. E. T.; PALUDZYSZYN FILHO, E. Avaliação de Teste Clonal de Eucaliptos Multiespécies em Mato Grosso do Sul. **7º Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas**. 486-490, 2013. Uberlândia, Minas Gerais.
- RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 975 p.
- RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.
- ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 964-971, 2012.
- TOLFO, A. L. T.; PAULA, R. C.; BONINE, C. A. V.; BASSA, A.; VALLE, C. F. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, n. 67, p. 101-110, 2005.
- VALENTE, B. M. R. T. Clones de eucalipto. A tendência das tecnologias florestais **Revista Opiniões**. pg 31. 56 Set-Nov 2015 – 41.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**: Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto. 1992. 496p.

**Avaliação de clones híbridos de *Corymbia* para características físicas, anatômicas e químicas da madeira e carvão vegetal**

**RESUMO**

Híbridos do gênero *Corymbia* voltaram a despertar interesse de empresas florestais, por apresentarem além de crescimento, adaptação e propriedades importantes para qualidade da madeira, alta resistência a fatores bióticos e abióticos. Análises feitas no exterior e no Brasil estão demonstrando resultados importantes para densidade associada a altos rendimentos. Dessa forma, parece estratégico investir no cruzamento de espécies de *Corymbia* como uma opção alternativa às espécies atuais. Logo, foram incluídos em diversos programas de melhoramento, buscando materiais produtivos, qualidade da madeira, e com resistência a fatores bióticos e abióticos. Com o objetivo de identificar clones potenciais para a região do Rio Doce, foi implantado um teste clonal com híbridos de espécies do gênero *Corymbia*. Estudou-se a variabilidade e a herdabilidade das características de crescimento, qualidade da madeira e carvão, além de ganhos genéticos e a seleção de clones potenciais para o cultivo na região do Rio Doce. Este teste foi realizado na área Experimental da empresa ArcelorMittal BioFlorestas. O delineamento foi o de blocos ao acaso, com 18 repetições (uma planta por parcela) e 13 tratamentos (12 clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* e um clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). O espaçamento foi de 3,0 x 2,5 m e a avaliação foi realizada aos 69 meses. Houve efeitos significativos de clones para todas as características avaliadas, o que denota possibilidade de ganhos com a seleção. As estimativas de herdabilidade em nível de médias de clones foram de média a elevada magnitude. O ranking de seleção dos clones divergiu para as diferentes características em estudo. Contudo para o programa de melhoramento genético em questão torna-se de maior importância indicar os materiais selecionados para o caractere Densidade Básica (Db) e Densidade Relativa Aparente do Carvão (DbC), que também foram selecionados para outros caracteres importantes: 8COR e 4COR. Observou-se que as densidades, básica da madeira e aparente do

carvão, estão correlacionadas com caracteres anatômicos, químicos e mecânicos sendo as magnitudes de médias à baixas, e alterando o sentido de positivo a negativo. Os resultados revelaram boas perspectivas para o uso comercial de material genético do gênero *Corymbia*, fato que pode impactar favoravelmente o setor de siderurgia à base de carvão vegetal.

**Palavras-chave:** Melhoramento florestal; seleção de clones; qualidade da madeira.

## ABSTRACT

Hybrids of the genus *Corymbia* have once again aroused the interest of forestry companies, as they present in addition to growth, adaptation and properties important for wood quality, high resistance to biotic and abiotic factors. Analyzes done abroad and at Braisl are showing important results for density associated with high yields. In this way, it seems strategic to invest in the crossing of *Corymbia* species as an alternative to the current species. Therefore, they were included in several breeding programs, searching for productive materials, wood quality, and resistance to biotic and abiotic factors. In order to identify potential clones for the Rio Doce, a clonal test was implemented with hybrids of species of the genus *Corymbia*. The variability and heritability of growth characteristics, wood quality and charcoal, as well as genetic gains and selection of potential clones for cultivation in the Rio Doce region were studied. This test was carried out in the Experimental area of ArcelorMittal BioFlorestas. The experimental design was a randomized block design with 18 replicates (one plant per plot) and 13 treatments (12 hybrid clones of *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* and one clone of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*). The spacing was 3.0 x 2.5 m and the evaluation was performed at 69 months. There were significant effects of clones for all characteristics evaluated, which indicates possibility of gains with the selection. The estimates of heritability at medium level of clones were from medium to high magnitude. The clone selection ranking differed for the different characteristics under study. However, for the genetic breeding program in question, it is of more importance to indicate the materials selected for the character Basic Density (Db) and Relative Relative Density of the Charcoal (DbC), which were also selected for other important characters: 8COR and 4COR. It was observed that the wood's basic and apparent charcoal densities are correlated with anatomical, chemical and mechanical characteristics, with the magnitudes of means being low, and changing the direction from positive to negative. The results revealed good prospects for the commercial use of genetic material of the genus *Corymbia*, a fact that can favorably impact the charcoal-based steel industry.

**Keywords:** Forest improvement; selection of clones; quality of wood.

## 1. INTRODUÇÃO

O melhoramento genético florestal visa o aumento da produtividade, adequação da matéria prima ao produto final, melhoria nas condições adaptativas, tais como capacidade de florescimento e produção de frutos e sementes, resistência a pragas e doenças e, principalmente, a manutenção da variabilidade genética (PIGATO & LOPES, 2001). A correta definição dos objetivos para seleção e, conseqüentemente a direção do melhoramento é o quesito primordial para o sucesso tanto em ganho imediato quanto em longo prazo. As variações nas propriedades da madeira são grandes entre espécies, embora dentro da mesma espécie elas também ocorram principalmente em função da idade e de fatores genéticos e ambientais.

Durante muitos anos, preocupou-se somente com o aumento da produtividade dos plantios florestais de *Eucalyptus*. Não se incorporava as características tecnológicas da madeira aos aspectos econômicos e silviculturais. Sabe-se que o rendimento e qualidade do carvão vegetal são influenciados diretamente pelas propriedades da madeira. Assim, em decorrência da busca por melhor qualidade do produto final, do aumento da produtividade do processo, além de expansão para regiões não tradicionais e resistência a pragas e doenças, as empresas florestais vêm sendo motivadas a buscar soluções para a produção de carvão vegetal homogêneo, com alto rendimento, elevada qualidade e baixo custo.

Recentemente, diversas espécies de *Corymbia*, tais como, *C. citriodora*, *C. torelliana*, *C. maculata*, *C. nesophila* e seus híbridos interespecíficos, estão sendo estudadas, em distintos programas, visando a obtenção de materiais produtivos, com madeira de qualidade para vários produtos e com resistência a fatores bióticos e abióticos.

Os híbridos entre espécies de *Corymbia* apresentam grande potencial para utilização como matéria prima para carvão, madeira serrada, energia, postes, madeira tratada e celulose. Esses cruzamentos, ainda pouco explorados comercialmente, têm potencial para se tornarem importantes para programas de produção de carvão vegetal, celulose e outros produtos obtidos do eucalipto (ASSIS, 2014).

O estudo da herdabilidade dos caracteres e suas correlações possibilitam a obtenção de informações sobre a natureza da ação gênica envolvida na herança dos caracteres e se prestam para avaliação do progresso (ganho genético) esperado na seleção, além de contribuir para a definição do método de seleção a ser adotado (VENCOVSKY & BARRIGA, 1992).

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar os parâmetros genéticos de clones híbridos interespecíficos do gênero *Corymbia* para caracteres de qualidade da madeira e carvão, visando a seleção de clones para a produção de carvão vegetal, na região do Rio Doce.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material experimental

A presente pesquisa foi realizada na ArcelorMittal BioFlorestas, empresa pertencente ao Grupo ArcelorMittal, no Município de Dionísio, Minas Gerais. O local apresentou precipitação média anual de 1900 mm, umidade relativa 73%, temperatura média de 20,2° C (Máx: 30,2° C, Min: 11,8° C), altitude de 450 m e vegetação típica de mata atlântica.

A implantação foi realizada em novembro de 2008 e a avaliação realizada em agosto de 2014. Os materiais foram plantados em latossolo vermelho amarelo, no espaçamento de 3,0 x 2,5 m. Foram avaliados 12 clones híbridos entre espécies do gênero *Corymbia* e um clone do gênero *Eucalyptus* (Tabela 1).

Tabela 1 – Identificação dos clones dos gêneros *Corymbia* e *Eucalyptus* avaliados no teste clonal.

<b>Identificação</b>	<b>Material Genético</b>	<b>Empresa</b>
<b>01TEST</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	Empresa 1
<b>02COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2
<b>03COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>04COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>05COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>06COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>07COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>08COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>09COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>10COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2
<b>11COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2
<b>12COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2
<b>13COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2

O desempenho silvicultural destes clones foi avaliado em teste clonal no delineamento de blocos ao acaso, com 18 repetições e parcelas de planta única (single tree plot). As mudas utilizadas foram produzidas por miniestaquia e conduzidas seguindo os manejos habituais de um viveiro clonal. O preparo de solo, manutenções e dosagens de adubações seguiram os métodos utilizados nos plantios comerciais. A recomendação de adubação contou com a aplicação: pré-plantio 2000 kg/ha de Agrosilício; no plantio Basifós Forest 0,3% de B + 0,2% de Zn + 0,2% de Cu, 440 kg/ha; primeira cobertura aos 6 meses NPK 180018 + 1% de B +

4% de S, 170 kg /ha; segunda cobertura 1 ano NPK 150030 + 0,7% de B + 6% de S, 210 kg/ha; e terceira cobertura no 2 ano NPK 150030 + 0,7% de B + 6% de S, 210 kg/ha.

## **2.2. Metodologia experimental**

### **2.2.1. Preparo de amostras**

De cada árvore foram retirados seis discos de 5 cm de espessura, correspondentes a 0%, no DAP (diâmetro à altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, até o diâmetro mínimo de 4 cm. Inicialmente, fez-se a medição das porcentagens de cerne e alburno e da circunferência de cada disco. Em seguida, os discos referentes à altura do DAP foram utilizados para as análises anatômicas da madeira. Dos outros discos foram obtidas duas cunhas opostas, passando pela medula, utilizadas para determinação da densidade básica da madeira.

A densidade básica da madeira, circunferência e porcentagens de cerne e alburno, foram avaliadas no sentido base-topo e nas demais análises utilizou-se amostra composta.

O restante de cada disco foi seccionado, sendo uma parte destinada à carbonização, formando-se uma amostra composta para tal, e outra parte destinada às demais análises. Para determinação do percentual de cinzas, análise química estrutural e poder calorífico superior, as amostras de madeira foram transformadas em serragem, utilizando-se um moinho de laboratório tipo Wiley, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 1998).

Após cada carbonização, foram determinados os rendimentos gravimétricos em carvão. Uma parte das amostras carbonizadas foi destinada à determinação da densidade relativa aparente e friabilidade, e o restante foi triturado para avaliação da composição química imediata e poder calorífico superior (PCS).

### **2.2.2. Características avaliadas**

Aos cinco anos e nove meses de idade do teste clonal foram mensurados o CAP (circunferência a altura do peito (1,30 metros) e a Alt (altura total) de cada indivíduo, de todas as repetições, com o auxílio de uma fita diamétrica e do clinômetro, respectivamente. Foi calculado o DAP (centímetros), o volume ( $m^3$ ) e o IMA ( $m^3/ha/ano$ ).

Foram avaliadas propriedades físicas, anatômicas e químicas da madeira, e na sequência, seguiu-se a avaliação no processo de carbonização da madeira e suas propriedades. A descrição segue abaixo:

a. Propriedades físicas da madeira

Densidade básica da madeira (Db)

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

Sugere-se para a empresa, os valores médios finais de densidade básica de cada clone. Para isso considera-se a ponderação das densidades das cunhas retiradas ao longo do tronco, utilizando o volume das toras entre dois discos consecutivos como fator de ponderação (VITAL, 1984).

b. Propriedades anatômicas da madeira

Relação cerne/alburno (C/A)

Os procedimentos utilizados para determinação da relação cerne/alburno (C/A) estão de acordo com a metodologia descrita por Evangelista (2007). Em cada torete, foi identificada a região do cerne periférico, região limite entre cerne e alburno, com o auxílio de uma lupa com aumento de 10 vezes observando possíveis alterações na cor e ocorrência de poros obstruídos por tilos no cerne. De uma extremidade à outra de cada torete, traçaram-se duas retas perpendiculares, passando pelo centro da medula. Foram feitas as medições do diâmetro total e do diâmetro do cerne com uma régua de 0,1 cm de precisão. A relação cerne/alburno (C/A) foi calculada pela fórmula:

$$C/A = \frac{Dc^2}{D^2 - Dc^2}$$

Sendo,

Dc: Diâmetro do cerne, em cm; e,

D: Diâmetro do disco sem casca, em cm.

Os valores médios da relação C/A para cada disco foram calculados a partir da média de duas medições, lado A e lado B do disco.

#### Análise morfológica de fibras e poros

Foram retirados pequenos fragmentos ao longo do sentido radial nas regiões do cerne, do cerne periférico e do alburno dos discos correspondentes a todas as alturas, formando uma amostra composta por árvore. Para individualização das fibras, as amostras foram acondicionadas com solução de peróxido de hidrogênio e ácido acético glacial, segundo o método preconizado por Dadswell (1972). Posteriormente, montaram-se lâminas temporárias e mediram-se a largura e o diâmetro de 30 fibras por árvore. Foram utilizados um microscópio ótico com câmera acoplada, sistema de aquisição de imagens, e o *software* Axio-Vision. A espessura da parede celular da fibra foi determinada matematicamente pela metade da diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lume. A fração parede (F.parede) foi estimada conforme Foelkel et al. (1975):

$$\text{Fração parede} = \frac{2 * \text{P.fibra}}{\text{La.fibra}} * 100$$

Sendo,

P. fibra: Espessura de parede, em  $\mu\text{m}$ ; e,

La. fibra: Diâmetro de fibra, em  $\mu\text{m}$ .

Para medição do diâmetro e da frequência de poros, foram utilizadas amostras da região do cerne e do alburno de cada árvore, provenientes da parte superior do torete relativo ao DAP. Os cortes anatômicos foram feitos com espessura média de 16  $\mu\text{m}$ , utilizando um micrótomo de deslize horizontal. De cada amostra foram realizados cortes nos planos transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial. Os cortes anatômicos foram desidratados em uma série alcoólica, corados com solução de safranina, e as lâminas foram fixadas com Entelan. Com o auxílio do *software* Axio-Vision 4.3, foram realizadas as medições do diâmetro de 30 poros para cada árvore e a frequência foi mensurada em cinco micrografias por árvore.

### c. Propriedades químicas da madeira

#### Composição química estrutural

Para determinação da composição química da madeira foram empregadas as amostras de madeira já moídas, formando uma amostra composta por árvore, utilizando-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982). A determinação do teor absolutamente seco da madeira foi realizada conforme a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1998).

Os teores de extrativos da madeira foram determinados em duplicatas, de acordo com a norma TAPPI 204 om-88 (TAPPI, 1996), utilizando-se o método de determinação de extrativos totais, apenas substituindo o etanol/benzeno, pelo etanol/tolueno.

Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicata pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide & Demuner (1986). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria a partir da diluição do filtrado proveniente do procedimento para obtenção da lignina insolúvel (GOLDSCHIMID, 1971). O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel.

Para determinação dos teores de celulose e hemiceluloses foram calculadas as porcentagens de carboidratos (açúcares) (WALLIS, 1996). O teor de celulose foi determinado considerando-se a porcentagem de glicose, excluindo-se uma porcentagem igual ao teor de mananas, cujos monômeros de glicose compõem as glicomananas, na proporção 1:1 (ROWELL et al., 2005). A porcentagem de hemiceluloses foi calculada por diferença, considerando-se a madeira livre de extrativos, ou seja, retirou-se de 100 a soma de celulose e lignina total.

A porcentagem de cinzas na madeira foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), substituindo-se o cadinho de platina por cadinho de porcelana e a temperatura de 750°C para 600°C.

### d. Carbonização da madeira

Para carbonização, foram retiradas amostras de cada disco ao longo da altura comercial da árvore, obtendo-se uma amostra composta. Esta amostra foi, então, seca em

estufa, a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , em média até 24 horas, até massa constante. Foram feitas duas carbonizações por árvore.

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico tipo mufla, utilizando-se aproximadamente de 350g de madeira, que foram inseridas em um recipiente metálico com dimensões nominais de 0,3 m de comprimento, 0,12 m de diâmetro e um volume de aproximadamente  $0,003\text{ m}^3$ . O controle de aquecimento foi feito manualmente, com incrementos de  $50^{\circ}\text{C}$  a cada 30 minutos, o que corresponde a uma taxa de aquecimento média de  $1,67^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . A temperatura inicial foi de  $150^{\circ}\text{C}$  e a temperatura final de  $400^{\circ}\text{C}$ , permanecendo estabilizada nesta última por um período de 60 minutos. Os gases condensáveis foram recuperados por meio de um condensador tubular adaptado à porta da mufla. Após as carbonizações, os rendimentos gravimétricos em carvão foram determinados, com base na massa seca da madeira.

#### e. Propriedades do carvão vegetal

##### Densidade relativa aparente

A densidade relativa aparente do carvão foi determinada pelo método hidrostático, por meio da imersão em mercúrio, conforme descrito por Vital (1984). As amostras de carvão estavam com umidade de 5% na base, aproximadamente. Foram realizadas dez determinações de densidade por carbonização e a densidade aparente média foi obtida pela média aritmética, levando-se em consideração os cinco pontos de amostragem ao longo do tronco para cada árvore.

##### Poder calorífico superior (PCS)

O poder calorífico superior do carvão vegetal foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), em duplicatas, utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300. Para essa análise foram utilizadas amostras trituradas de carvão vegetal, que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982). As amostras foram secas em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , até massa constante, para determinação do poder calorífico superior.

## Composição química imediata

A composição química imediata do carvão vegetal foi obtida em amostras moídas e peneiradas que passaram pela peneira com malha de 40 mesh e ficaram retidas na peneira com malha de 60 mesh. Foram realizadas cinco repetições por carbonização.

A composição química imediata do carvão vegetal, que corresponde aos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, em base seca, foi determinada de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), substituindo-se o cadinho de platina por cadinho de porcelana e a temperatura para determinação do teor de cinzas foi de 750°C a 600°C.

Variáveis e abreviações utilizadas:

<b>Variável (unidade)</b>	<b>Abreviação</b>
Teor de cinzas (%)	1/Cinz
Relação cerne/alburno	1/C/A
Densidade básica da madeira (Kg/m <sup>3</sup> )	Db
Frequência de poros (mm <sup>2</sup> )	1/F. poros
Fração de parede (F. parede)	F. parede
Comprimento de fibras (mm)	C. fibra
Diâmetro do lume da fibra (µm)	1/Lu. fibra
Largura de fibra (µm)	La. fibra
Teor de extrativos (%)	1/T. extrat
Lignina total (%)	L. total
Holocelulose (%)	1/Holocel
Rendimento gravimétrico do carvão vegetal (%)	RGCV
Cinzas no carvão vegetal (%)	1/Cz
Geração de finos	1/Friabi
Densidade relativa aparente do carvão (Kg/m <sup>3</sup> )	D. carvão
Poder calorífico superior do carvão (kcal/g)	PSC C

### **2.2.3. Estimativas de parâmetros genéticos e estatísticas**

O modelo estatístico utilizado foi  $y = Xr + Zg + e$ , em que  $y$  é o vetor de dados;  $r$  é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral;  $g$  é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios); “ $e$ ” é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Seguiu-se o preparo adequado dos dados e os passos habituais para uso do software

SELEGEN REML/BLUP na versão de junho de 2014, sendo as análises realizadas pelo procedimento de estimação de componentes de variância (Reml) e de predição de valores genéticos (Blup). É importante ressaltar que para a variável sobrevivência (SOB) os zeros foram considerados significativos.

#### **2.2.4. Correlação genética entre as características analisadas**

As correlações genótípicas ou correlações entre os valores genotípicos também foram obtidas através do software SELEGEN, após analisar todas as variáveis de interesse segundo o modelo informado no tópico 2.2.2., utilizou-se o modelo adequado para tal finalidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A herdabilidade é um dos mais importantes parâmetros genéticos, pois quantifica a fração da variação fenotípica de natureza herdável, passível de ser explorada na seleção. A herdabilidade da média de clones ( $h^2 mc$ ) é estimada quando se usam médias como unidade de avaliação/seleção. Este é o parâmetro que interessa para a predição do sucesso do melhoramento na seleção de clones, em que os valores genotípicos são preditos com base em média de várias repetições (MAIA et al., 2009).

A  $h^2 mc$  para os 16 caracteres, apresentou valores de alta magnitude, o que indica elevado controle genético na expressão dos caracteres (Tabela 2).

Tolfo et al. (2005), estimando parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, produção e tecnológicos de 25 clones de *Eucalyptus* spp., em teste clonal, verificou que os parâmetros estudados apresentaram altas estimativas de herdabilidade ( $h^2 > 0,67$ ). Este mesmo autor concluiu que as estimativas de herdabilidade, no sentido amplo, sendo de alta magnitude para grande maioria dos caracteres, evidencia o bom controle genético e a possibilidade de avanços genéticos expressivos com a seleção. Podemos vislumbrar este possível ganho para a seleção nos 16 caracteres.

Tabela 2 – Estimativas dos parâmetros genéticos para os caracteres de qualidade da madeira e carvão, aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Parâmetros	1/Cinzas	1/(C/A)	Db (g/cm <sup>3</sup> )	1/F.poros	F. parede	C. fibra (mm)	1/Lu. fibra	La. fibra (µm)
$h^2 g$	0,87	0,50	0,59	0,43	0,46	0,48	0,26	0,19
$h^2 mc$	0,99	0,94	0,96	0,93	0,94	0,94	0,86	0,80
Acclon	0,996	0,97	0,98	0,96	0,97	0,97	0,93	0,89
CVgi%	41,83	27,48	8,92	10,13	9,98	4,71	6,28	2,39
CVe%	16,17	27,65	7,46	11,65	10,79	4,92	10,51	4,91
CVr	2,59	0,99	1,20	0,87	0,93	0,96	0,60	0,49
Média Geral	1,81	2,41	535,71	0,13	274,75	1,10	0,19	19,73

Continua...

Parâmetros	1/T. extrat	L. total (%)	1/Holocel	RGCV (%)	1/Cz	1/Friabi	D. carvão (Kg/m <sup>3</sup> )	PCS C (kcal/g)
h <sup>2</sup> g	0,45	0,72	0,82	0,59	0,77	0,46	0,61	0,30
h <sup>2</sup> mc	0,93	0,98	0,99	0,96	0,98	0,93	0,96	0,88
Acclon	0,97	0,99	0,99	0,98	0,99	0,97	0,98	0,94
CVgi%	29,23	7,29	4,70	2,21	53,61	10,43	11,19	1,61
CVe%	32,11	4,60	2,19	1,86	29,24	11,39	8,93	2,45
CVr	0,91	1,58	2,15	1,19	1,83	0,92	1,25	0,66
Média Geral	0,27	27,67	1,48	36,41	0,65	0,17	360,51	7035,48

h<sup>2</sup>g: Coeficiente de herdabilidade individual no sentido amplo; Acclon: Acurácia genética na seleção de clones obtida de acordo com arquivo; h<sup>2</sup>mc: Herdabilidade da média de clones; CVgi%: Coeficiente de variação genotípica; CVe%: Coeficiente de variação experimental; CVr: Coeficiente de variação relativa.

Resende (2002) classifica as magnitudes de herdabilidade em: baixa, quando varia de 0,01 a 0,15; média ou moderada, que varia de 0,15 a 0,50; alta, quando acima de 0,50. Logo, os caracteres que apresentaram herdabilidade alta foram: 1/(C/A) (0,50), Db (0,59), L. total (0,72), 1/Holocel (0,82), e 1/Cinzas (0,87), 1/T. extrat (0,45), RGCV (0,59), 1/Cz (0,77) e DbC (0,61). Os materiais que apresentaram herdabilidade moderada foram: 1/F. poros (0,43), F. parede (0,66), C. fibra (0,48), 1/Lu. Fibra (0,55), La. Fibra (0,19), 1/Friabi (0,46). e PSC C (0,30). Assim, há grande potencial para seleção dentro do experimento, com boas perspectivas para a seleção de clones de *Corymbia* com boa qualidade da madeira.

As acurácias de predição dos valores genéticos dos clones foram altas (Tabela 2). De acordo com Resende & Duarte (2007), acurácias acima de 0,70 são suficientes para avaliações numa população de melhoramento, e quando o objetivo é a avaliação do Valor de Cultivo e Uso, as acurácias devem ser superiores a 0,90. Assim, o presente trabalho apresentou acurácias tanto para avaliações em relação ao melhoramento, quanto ao Valor de Cultivo. Valores elevados de acurácia justificam a excelente qualidade experimental, o cuidado e o rigor técnico na montagem e avaliação dos experimentos (RESENDE & DUARTE, 2007). Logo, resultados demonstram que se pode realizar a escolha dos melhores clones para a região estudada.

Os valores do coeficiente de variação genotípico foram de moderado a alto, sinalizando a presença de variabilidade genética que possibilitará a seleção entre os clones. O maior coeficiente de variação genotípico (CVgi) chegou a 53,61%, para 1/Cz. Rosado et al. (2012), em análise de 21 clones de espécies do gênero *Eucalyptus*, objetivando a seleção simultânea, encontrou altos valores para o coeficiente de variação genotípico (5,74% a 22,7%), indicando que a existência de variabilidade genética entre os clones, para os

caracteres avaliados, reforçando os indicativos de que grande parte da variação total era de natureza genética. Segundo Resende (2002), quanto maior o valor do CV<sub>gi</sub>, maiores as chances de se obterem ganhos genéticos na seleção de clones.

A possibilidade de prever ganhos por uma estratégia de seleção constitui-se em uma das principais contribuições da genética quantitativa (CRUZ et al., 2012). Por meio dessas informações, é possível orientar de maneira mais efetiva o programa de melhoramento, prever o sucesso de seleção e decidir, com base científica, pela técnica mais eficaz. Segue em seguida os resultados de ganho com a seleção dos caracteres de qualidade da madeira, na Tabela 3.

Tabela 3 – Ganho com seleção para os caracteres de qualidade da madeira e carvão, aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1/Cinzas					
1	1TEST	4,21	2,40	132,86	0,00
2	13COR	1,88	1,24	4,05	-55,32
3	12COR	1,76	0,81	-2,68	-58,21
4	6COR	1,71	0,58	-5,73	-59,52
5	10COR	1,69	0,44	-6,36	-59,79
1/(C/A)					
1	10COR	3,24	0,83	34,42	133,45
2	13COR	3,10	0,76	28,43	123,06
3	11COR	3,01	0,71	24,90	116,92
4	9COR	2,84	0,64	17,61	104,27
5	5COR	2,78	0,58	15,52	100,63
Db (g/cm <sup>3</sup> )					
1	4COR	609,99	74,28	13,87	13,02
2	3COR	585,11	61,84	9,22	8,41
3	8COR	576,26	54,74	7,57	6,77
4	9COR	556,20	46,18	3,82	3,05
5	5COR	552,35	40,27	3,11	2,34
1/F. poros					
1	4COR	0,151	0,019	14,45	35,54
2	3COR	0,144	0,015	8,78	28,83
3	8COR	0,143	0,014	7,95	27,84
4	10COR	0,137	0,012	3,57	22,65
5	11COR	0,137	0,010	3,42	22,47
F. parede					
1	8COR	337,32	62,56	22,77	33,34
2	4COR	302,15	44,98	9,97	19,44
3	5COR	285,60	33,60	3,95	12,90
4	3COR	280,11	26,54	1,95	10,73
5	2COR	273,48	20,98	-0,47	8,11

VG: Valores genotípicos Continua...  
 1/Cinz: 1/Teor de cinzas (%); 1/C/A: 1/Relação cerne/alburno; Db: Densidade básica da madeira (Kg/m<sup>3</sup>); 1/F. poros: 1/Frequência de poros (mm<sup>2</sup>); F. parede: Fração de parede (F. parede).

Tabela 3 – Ganho com seleção para os caracteres de qualidade da madeira e carvão, aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
C. fibra (mm)					
1	8COR	1,19	0,09	7,95	14,08
2	9COR	1,16	0,07	5,31	11,30
3	4COR	1,15	0,06	4,38	10,31
4	3COR	1,13	0,06	2,61	8,45
5	5COR	1,12	0,05	1,14	6,89
1/Lu. Fibra					
1	8COR	0,209	0,018	9,12	17,75
2	4COR	0,203	0,015	6,04	14,42
3	3COR	0,200	0,013	4,47	12,73
4	5COR	0,197	0,011	2,90	11,04
5	2COR	0,192	0,009	0,35	8,28
La. fibra (µm)					
1	1TEST	20,31	0,59	2,99	0,00
2	8COR	20,10	0,48	1,90	-1,06
3	13COR	20,09	0,44	1,83	-1,13
4	9COR	20,02	0,40	1,49	-1,45
5	12COR	19,70	0,32	-0,13	-3,03
1/T. extrat					
1	10COR	0,43	0,16	61,68	107,19
2	13COR	0,33	0,12	24,85	60,00
3	12COR	0,29	0,09	9,81	40,72
4	9COR	0,29	0,07	6,89	36,98
5	8COR	0,28	0,06	6,48	36,45
L. total (%)					
1	1TEST	32,20	4,53	16,38	0,00
2	5COR	29,36	3,11	6,09	-8,84
3	7COR	28,93	2,49	4,56	-10,16
4	6COR	28,66	2,12	3,58	-11,00
5	4COR	28,54	1,87	3,14	-11,37

VG: Valores genotípicos

Continua...

C. fibra: Comprimento de fibras (mm); 1/Lu. fibra: 1/Diâmetro do lume da fibra (µm); La. Fibra: Largura de fibra (µm); 1/T. extrat: 1/Teor de extrativos (%); L. total: Lignina total (%).

Tabela 3 – Ganho com seleção para os caracteres de qualidade da madeira e carvão, aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1/Holocel					
1	1TEST	1,62	0,14	9,69	0,00
2	5COR	1,56	0,11	5,53	-3,78
3	7COR	1,53	0,09	3,70	-5,46
4	4COR	1,53	0,08	3,36	-5,77
5	3COR	1,51	0,07	2,05	-6,96
RGCV (%)					
1	1TEST	38,03	1,61	4,43	0,00
2	6COR	37,39	1,30	2,69	-1,67
3	7COR	36,92	1,03	1,38	-2,92
4	4COR	36,83	0,88	1,14	-3,15
5	13COR	36,39	0,70	-0,08	-4,32
1/Cz					
1	1TEST	1,72	1,07	163,57	0,00
2	10COR	0,67	0,54	3,12	-60,87
3	12COR	0,67	0,37	2,10	-61,26
4	5COR	0,65	0,28	0,23	-61,97
5	9COR	0,62	0,22	-4,39	-63,73
1/Friabi					
1	5COR	0,190	0,021	12,24	11,92
2	4COR	0,188	0,020	11,06	10,74
3	7COR	0,184	0,018	9,11	8,79
4	6COR	0,178	0,016	5,32	5,01
5	3COR	0,176	0,014	3,90	3,60
D. carvão (Kg/m <sup>3</sup> )					
1	4COR	431,24	70,73	19,62	26,08
2	3COR	398,09	54,16	10,42	16,39
3	8COR	388,78	45,53	7,84	13,67
4	5COR	381,42	39,38	5,80	11,51
5	9COR	379,72	35,35	5,33	11,02
PCS C (kcal/g)					
1	11COR	7145,04	109,57	1,56	1,11
2	12COR	7134,00	104,04	1,40	0,95
3	10COR	7120,90	97,84	1,21	0,76
4	8COR	7101,73	89,94	0,94	0,49
5	13COR	7083,61	81,58	0,68	0,24

VG: Valores genotípicos 1/Holocel: 1/Holocelulose (%); RGCV: Rendimento gravimétrico do carvão vegetal (%); 1/Cz: 1/Teor de cinzas (%); 1/Friabi, Geração de finos; D. carvão, Densidade relativa aparente do carvão (Kg/m<sup>3</sup>); PCS C: Poder calorífico superior do carvão (kcal/g).

O elevado teor de cinzas no carvão é indesejável para produção de alguns tipos de ferro-liga, pois tornam-se quebradiços, menos maleáveis e com campos favoráveis à propagação de trincas e fissuras (ROCHA, 2011). Dessa forma, para a análise de ganho com a seleção foi calculado o  $1/C_z$ , o inverso de cinzas no carvão vegetal, (Tabela 3)

Observou-se que o primeiro colocado para  $1/Cinzas$  na seleção foi o 1TEST, testemunha, com ganho superior aos materiais clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, avaliados. De acordo com Barcellos et al. (2005), o teor de cinzas desejável no carvão vegetal corresponde, a menos de 1%. Observou-se valores de cinzas no carvão vegetal ( $C_z$ ) superiores a 1%, acima ao recomendado, sendo indesejável para algumas aplicações.

No que se refere à produção de carvão vegetal, a relação cerne/alburno contribui para o aumento da geração de finos, pois a carbonização ocorre da superfície para o interior da tora de madeira e há a liberação de gases originários durante o processo, que percorrem o caminho inverso. Esta geração de finos é prejudicial no processo de uso industrial do carvão, por este motivo para a análise de seleção foi calculado o  $1/(C/A)$  (Inverso da Relação Cerne/Alburno), logo, serão selecionados os materiais que apresentem o menor valor de  $C/A$ .

Para  $1/(C/A)$ , relação cerne/alburno, observou-se que para o ganho genético em relação à média geral, os cinco primeiros colocados foram os clones de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, 10COR (34,42%), 13COR (28,43%), 11COR (24,90%), 9COR (17,61%) e 5COR (15,52%). Logo, estes materiais foram superiores para esta característica.

Santos et al. (2011), avaliando a madeira de três clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* aos seis anos de idade, encontraram valores de densidade básica média variando de 479 a 529  $Kg.m^{-3}$ . Sette Jr. et al. (2012), avaliando o efeito da idade e posição longitudinal nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, obtiveram um valor de densidade básica de 460  $Kg.m^{-3}$  para a madeira de *Eucalyptus grandis*, aos 72 meses de idade.

Couto (2015), em análise da qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização, observou que os valores de densidade básica da madeira oriunda dos clones de *Eucalyptus* apresentavam valores entre 471 a 503  $Kg.m^{-3}$ , similar aos encontrados por outros autores. Já para a madeira de *C. citriodora* encontrou densidade superior a 606  $Kg.m^{-3}$ . Com isso, concluiu que, para este caractere, *Corymbia* é o mais propício à produção de carvão vegetal de uso siderúrgico.

Para Db, densidade básica da madeira, os cinco primeiros materiais selecionados foram híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, apresentando valores (VG) de 552,35 a 609,99 Kg.m<sup>-3</sup>, aos 69 meses. A testemunha (1TEST), clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, apresentou valor de 539,73 Kg.m<sup>-3</sup>, valor este, um pouco acima dos valores encontrados por Couto (2015), mas justificado por ser advindo de um programa de melhoramento que busca o aumento deste caractere. Os valores obtidos para os clones de *Corymbia* apresentaram considerável ganho genético em relação à média geral, 4COR (13,87%), 3COR (9,22%), 8COR (7,57%), 9COR (3,82%), 5COR (3,11%); e em relação a testemunha, 4COR (13,02%), 3COR (8,41%), 8COR (6,77%), 9COR (3,05%), 5COR (2,34%).

A densidade básica é um dos índices de qualidade da madeira mais importantes, e faz parte do quadro de características de seleção de materiais em diversos programas de melhoramento genético, de carvão vegetal e celulose. Essa propriedade é a mais utilizada para a avaliação da qualidade da madeira, uma vez que está correlacionada diretamente com a produção de massa seca, com as propriedades físico-mecânicas e pode ser facilmente determinada, além de se relacionar com a qualidade do produto (PALERMO et al., 2004; SANTOS, 2010). Por este motivo torna-se importante observar o destaque destes clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, para este caractere.

A frequência de poros tratada para a seleção, como 1/F. poros (Inverso da Frequência de poros), por também ser desfavorável a produção de carvão vegetal, possibilita uma maior quantidade de espaços vazios, contribuindo negativamente para a densidade, o rendimento gravimétrico e a qualidade do carvão vegetal. Todos os cinco primeiros destacados na seleção para à média geral do experimento são clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, sendo estes: 4COR, 3COR, 8COR, 10COR, 11COR. O ganho de seleção em relação à testemunha foi de: 35,54% para 4COR, 28,83% para 3COR, 27,84% para 8COR, 22,65% para 10COR, 22,47% para 11COR. Pode-se considerar que os clones avaliados apresentaram uma frequência de poros menor do que a testemunha (1TEST) e que este caractere poderá ser um dos destaques para a densidade superior observada nesta pesquisa.

A análise morfológica das fibras fornece informações auxiliares na indicação de espécies potenciais para produção de carvão vegetal (PAULA, 2005). Segundo Santos (2010), A espessura de parede das fibras influencia diretamente a densidade e indiretamente na conversão da madeira em carvão vegetal, porque uma madeira com fibras de parede celular

espessa apresentará maior volume de biomassa para sustentar a degradação térmica da madeira.

Observa-se que para a fração parede (F. parede) os cinco melhores clones foram híbridos de *Corymbia*, sendo destaque o clone 8 COR com 62,56%. Madeiras caracterizadas pela presença de fibras com fração parede alta, são potenciais para a produção de carvão vegetal (PAULA, 2005), apresentando maior massa para sustentar a decomposição térmica da madeira, favorecendo o rendimento e a qualidade do carvão vegetal. Ressalta-se que os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* avaliados apresentaram fração parede superior como recomendado por Paula (2005).

A existência de correlações entre a elevada densidade e as dimensões das fibras com parede celular espessa e lumes reduzidos indica a possibilidade de produção de carvão vegetal mais denso e com menor volume de poros (OLIVEIRA, 1988). Quanto maior for a fração parede, as fibras terão maiores quantidades de celulose, lignina e hemiceluloses e, conseqüentemente, mais componentes geradores de energia (Paula, 2005).

Os valores de ganho individual encontrados para comprimento de fibra (C.fibra), em relação à população, foram: 8COR (7,95%), 9COR (5,31%), 4COR (4,38%), 3COR (2,61%), 5COR (1,14%). Observou-se que os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, apresentaram ganhos superiores à testemunha 1TEST (1,05), sendo esta a última colocada. O ganho para C.fibra em relação à testemunha foi de 14,08% para 8COR, 11,3% para 9COR, 10,31% para 4COR, 8,45% para 3COR e, 6,89% para 5COR.

Perfazendo ao exposto para lume de poros, para a produção de carvão vegetal é desejável o menor conteúdo de espaços vazios, logo, uma menor dimensão de fibra, uma vez que estes não contribuem com o rendimento gravimétrico em carvão, além de influenciarem negativamente a qualidade do mesmo. Calculou-se o inverso do Lume de fibra (1/Lu.fibra) para realizar a análise dos valores de ganho genético. Foram observados, nas primeiras colocações, cinco clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*: 8COR (9,12%), 4COR (6,04%), 3COR (4,47%), 5COR (2,90%), 2COR (0,35%). Já para o ganho em relação à testemunha os valores foram: 17,75%, 14,42%, 12,73%, 11,04%, 8,28%, respectivamente.

O caractere, La. Fibra, Largura de fibra, foi considerado positivo para o incremento de qualidade para o carvão vegetal, sendo que para que este valor contribua positivamente para os produtos, outros parâmetros devem ser analisados em conjunto, como: espessura de parede

da fibra e lúmen da fibra. Observa-se que o melhor ganho em relação à média da população foi para a testemunha, 1TEST, com 2,99%, seguida pelo 8COR com 1,9%. Verifica-se que não há grande diferença entre eles.

Considerando-se a produção de carvão vegetal, o teor elevado de extrativos da madeira é um fator prejudicial, uma vez que proporciona menor rendimento gravimétrico em carvão, devido à degradação dessas substâncias a baixas temperaturas. Por este motivo, para a análise de seleção foi calculado o 1/T.extrat (Inverso do Teor de extrativos), logo, serão selecionados os materiais que apresentaram o menor valor de Teor de extrativos.

Para 1/T. extrat, teor de extrativos, observou-se que para o ganho genético em relação à média geral, os cinco primeiros colocados foram os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, 10COR (61,68%), 13COR (24,85%), 12COR (9,81%), 9COR (6,89%) e 8COR (6,48%). Com isso, estes materiais foram superiores para esta característica.

A média geral dos clones para o teor de extrativos foi de 4,44%, sendo que a testemunha (1TEST) apresentou o valor de 5,49% e os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, variaram de 2,76% a 6,04%, possibilitando a seleção de indivíduos com menores valores, logo superiores para este caractere. Oliveira et al. (2010) encontraram valores médios de teor de extrativos totais de 4,53%, para madeira de *Eucalyptus pellita* aos cinco anos de idade. Trugilho & Silva (2001) observaram maiores valores para o teor de extrativos totais, obtendo valores que variaram de 4,87% a 7,75%, e 6,50% a 7,54%, para clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente. Santos (2010) verificou um valor médio de 5% de extrativos para quatro clones híbridos de *Eucalyptus* sp..

Segundo Santos (2010), a lignina é o componente químico que mais contribui para o rendimento gravimétrico durante o processo de carbonização em função da sua maior resistência à degradação térmica. Sendo assim, é o principal componente da madeira responsável pela presença de carbono fixo no carvão vegetal. Já na queima direta, a lignina é completamente degradada e contribui para a liberação de energia.

Para L. total, lignina total, o primeiro colocado na seleção foi o 1TEST, testemunha, apresentando o valor (VG) de 32,2%, seguido pelos clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*: 5COR (29,36%), 7COR (28,93%), 6COR (28,66%), 4COR (28,54%). Corroborando com os resultados dos clones deste trabalho, Gomide et al. (2005), em pesquisa na qual foram estudados 10 clones de *Eucalyptus* sp., obtiveram teores de lignina que variaram de 27,5 até 31,7%. Esses valores indicaram que, mesmo sendo madeira de folhosa,

alguns clones de eucalipto plantados no Brasil atingem teores de lignina acima de 30%, sendo esses valores mais característicos de madeiras de coníferas. Trugilho & Silva (2001), estudando sete clones de *Eucalyptus grandis* e três clones de *Eucalyptus saligna*, obtiveram valores médios para o teor de lignina total acima de 30%, observando valores de 31,89% e 31,51%, respectivamente.

Os valores de ganho genético encontrados para L. total, lignina total, em relação à média geral foram de 1TEST (16,38%), 5COR (6,09%), 7COR (4,56%), 6COR (3,58%) e 4COR (3,14%). Observou-se que os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, apresentaram ganho inferiores à testemunha, fato este devido ao clone 1TEST ser um clone superior com origem em programa de melhoramento para carvão vegetal, que utiliza esta característica como padrão de seleção.

A soma dos teores de hemiceluloses e celulose é denominada holocelulose (ROWEEL, 2005) e corresponde à fração de massa mais expressiva da madeira. O teor de holocelulose para os diferentes clones no presente estudo estão em concordância com outros trabalhos (SANTOS, 2011; ROCHA, 2011; CASTRO, 2011).

Quando se pretende usar a madeira para a produção de carvão, são baixas porcentagens de celulose e hemiceluloses, devido a estes componentes apresentarem baixa resistência à degradação térmica, possuindo picos máximos de perda de massa em aproximadamente 275°C para hemiceluloses e em 350°C para celulose, não contribuindo significativamente para o rendimento em carvão vegetal, e sim para rendimento em gases condensáveis e não condensáveis (YANG, 2007; SHEN et al., 2010). Logo, para a análise de seleção foi calculado o 1/Holocel (Inverso do Teor de holocelulose) e poderão ser selecionados os materiais que apresentarem o menor valor de teor de holocelulose.

Para 1/Holocel, teor de holocelulose, observou-se que para o ganho genético em relação à média geral, a testemunha (1TEST) foi a melhor colocada e apresentou o valor de 9,69%, na sequência seguiram os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, 5COR (5,53%), 7COR (3,70%), 4COR (3,36%) e 3COR (2,05%). Logo, observou-se que existem materiais próximos a testemunha que podem ser avaliados para seleção.

O ganho com seleção para o caráter rendimento gravimétrico do carvão vegetal segue descrito da Tabela 3. Observou-se que o primeiro colocado na seleção foi o clone 1TEST, testemunha, apresentando o valor (VG) de 38,03%, seguido pelos clones híbridos de

*Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*: 6COR (37,39%), 7COR (36,92%), 4COR (36,83%), 13COR (36,39%).

Botrel et al. (2007) observaram rendimento gravimétrico médio para vários clones de espécies do gênero *Eucalyptus* de 35,03%, utilizando temperatura final de carbonização de 450°C e taxa de aquecimento de 1,67°C. Observa-se que o material testemunha (1TEST), primeiro colocado, ficou bem acima do valor encontrado para *Eucalyptus*, este fato pode ser explicado por este material ser resultado de um programa de melhoramento genético para carvão vegetal, potencializando este caractere. Importante mencionar que apesar de ficarem abaixo da testemunha, os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, apresentaram valores superiores ao encontrado por Botrel et al. (2007).

Frederico (2009), Protásio et al. (2014) e Soares (2011) encontraram valores de RGCV, entre 28,36% a 33,00%, inferiores ao apresentado pelos clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, neste trabalho.

Maiores valores de rendimento gravimétrico em carvão são desejáveis, pois resulta em maior massa de carvão vegetal e, conseqüentemente, maior produtividade dos fornos. O rendimento na produção de carvão é maximizado com o uso de madeira mais densa, de maior poder calorífico e constituição química adequada resultando também em um carvão de melhor qualidade (PALUDZYSYN FILHO, 2008).

O elevado teor de cinzas no carvão é indesejável para produção de alguns tipos de ferro-liga, pois tornam-se quebradiços, menos maleáveis e com campos favoráveis à propagação de trincas e fissuras (ROCHA, 2011). Dessa forma, para a análise de ganho com a seleção foi calculado o  $1/C_z$ , o inverso de cinzas no carvão vegetal, (Tabela 3).

Observou-se que o primeiro colocado na seleção foi o 1TEST, testemunha, com ganho superior aos materiais clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, avaliados. De acordo com Barcellos et al. (2005), o teor de cinzas desejável no carvão vegetal corresponde, a menos de 1%. Observou-se valores de cinzas no carvão vegetal ( $C_z$ ) superiores a 1%, acima ao recomendado, sendo indesejável para algumas aplicações.

A geração de finos (friabi) depende de vários fatores, como relação cerne/alburno, velocidade e temperatura máxima da carbonização, porcentagem de vasos obstruídos, umidade inicial da madeira e diâmetro da peça (TRUGILHO, 2005). Quanto maior a geração de finos, menor a qualidade do carvão, por este motivo foi calculado o  $1/F_{iabi}$ , o inverso de geração de finos, conforme pode-se observar na tabela 3.

Todos os cinco primeiros colocados na seleção para geração de finos (friabi), em relação à média geral do experimento foram clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, sendo estes: 5COR (12,24%), 4COR (11,06%), 7COR (9,11%), 6COR (5,32%), 3COR (3,90%). O ganho de seleção em relação à testemunha foi: 5COR (11,92%), 4COR (10,74%), 7COR (8,79%), 6COR (5,01%), 6COR (3,60%).

Maiores valores de densidade aparente do carvão vegetal conferem ao carvão vegetal resistência mecânica e maior capacidade calorífica por unidade de volume (STURION et al., 1988). Ainda de acordo com Pimenta & Barcelos (2000), quanto mais elevada a densidade do carvão vegetal, maior será a utilização do volume do alto-forno e maior o tempo de residência da carga metálica no equipamento, além de maior capacidade de carga em termos de carbono por volume. Por essas razões a densidade é um dos índices de qualidade do carvão mais importantes, e faz parte do quadro de características de seleção de materiais em diversos programas de melhoramento genético, de carvão vegetal.

De acordo com Santos (2008b) o valor ideal para a densidade aparente do carvão vegetal deve ser superior a  $0,25 \text{ g/cm}^3$  quando destinado para uso siderúrgico. Sendo assim, todos os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* avaliados nesse trabalho, apresentaram densidade aparente dentro dos parâmetros estabelecidos para siderurgia, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Para D carvão, densidade relativa aparente do carvão, os cinco primeiros materiais selecionados foram híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, apresentando valores (VG) de 379,82 a 431,24  $\text{Kg/m}^3$ , aos 69 meses. A testemunha (1TEST), clone de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, apresentou valor de 342,01  $\text{Kg/m}^3$ , valor este, entre os superiores encontrados por Santos (2010), mas justificado por ser advindo de um programa de melhoramento que busca o aumento deste caractere. Os valores encontrados para os clones de híbridos de espécies do gênero *Corymbia* apresentaram considerável ganho genético em relação à média geral, 4COR (19,62%), 3COR (10,42%), 8COR (7,84%), 5COR (5,8%), 9COR (5,33%); e em relação a testemunha foram ainda maiores, 4COR (26,08%), 3COR (16,39%), 8COR (13,67%), 5COR (11,51%), 9COR (11,02%).

De maneira geral, a madeira dos eucaliptos apresenta densidade classificada como média, conforme descrito na literatura, mas segundo Assis (2014), a densidade para clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* é superior, acima de  $600 \text{ kg/m}^3$  aos 7

anos, por essa razão, sua madeira tem sido muito valorizada, sobretudo com o aumento do interesse na produção de carvão vegetal e energia de biomassa.

Trugilho et al. (2005) avaliaram a madeira de seis clones híbridos naturais de *Eucalyptus* aos sete anos de idade, e encontraram valores de densidade aparente do carvão variando 270 Kg/m<sup>3</sup> a 360 Kg/m<sup>3</sup> sendo esses valores próximos aos encontrados no presente trabalho.

Nas idades de três, cinco e sete anos de *E. benthamii* e *E. urophylla*, Pereira (2011) encontrou valores entre 260 Kg/m<sup>3</sup> a 330 Kg/m<sup>3</sup>. Frederico (2009) chegou à densidade aparente entre 285 Kg/m<sup>3</sup> a Kg/m<sup>3</sup> para clones de *Eucalyptus* sp.

Na seleção de clones, para a produção de energia, o poder calorífico é um excelente parâmetro, para avaliar o potencial energético de biomassa, podendo ser definido como a medida da quantidade de energia que um combustível possui, ou seja, o quanto de calor que é liberado na sua combustão completa (kcal), quando este é queimado por unidade de massa da madeira (kg) (SOARES, 2011). Na tabela 3, pode-se observar o desempenho dos materiais para o poder calorífico superior do carvão (PSC C).

O PCS C, poder calorífico superior do carvão, apresentou VG (Valor genotípico) médio para os clones estudados de 7035,48 kcal/kg. Observamos uma pequena diferença entre os clones de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* e a testemunha (1TEST), ainda que os cinco melhores materiais tenham sido de espécies do gênero *Corymbia*, que seguem na sequência de seleção: 11COR (7145,04 kcal/kg), 12COR (7134 kcal/kg), 10COR (7120,9 kcal/kg), 8COR (7101,73 kcal/kg) e 13COR (7083,61 kcal/kg). Segundo Frederico (2009) para o emprego siderúrgico, maiores poderes caloríficos refletem em menor consumo de carvão vegetal para uma mesma produtividade de ferro-gusa, o que reduz significativamente seu consumo na redução dos minérios na atividade siderúrgica. Valores médios próximos para PCS do carvão vegetal de *Eucalyptus* spp., aos sete anos de idade, foram obtidos por Soares (2011) e Castro (2011), que verificaram 7193,0 kcal.kg<sup>-1</sup> e 7363,0 a 7478,0 kcal.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para PSC C, observou-se valores de ganho genético em relação à média geral, para os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, 11COR (1,56%), 12COR (1,40%), 10COR (1,21%), 8COR (0,94%) e 13COR (0,68%).

O parâmetro correlação entre variáveis denota o grau de associação entre elas, ou seja, quantifica as influências que determinados caracteres exercem sobre outros, a Tabela 4 apresenta estas estimativas de correlação genética entre os caracteres analisados.

A estimativa da correlação entre características é de fundamental importância em programas de melhoramento genético, principalmente se elas apresentarem baixa herdabilidade e/ou, tiverem problemas de mensuração (CRUZ et al., 2012). Pires et al. (2011) mencionam que a correlação genética é um parâmetro muito importante em melhoramento genético, e que quando a correlação é alta, a alteração em um caráter, promove alteração significativa em outro, facilitando a seleção indireta.

Características correlacionadas são de interesse, por três razões principais segundo Falconer (1987). Primeiramente, em conexão com as causas genéticas de correlação, por meio da ação pleiotrópica dos genes. Em segundo lugar, em conexão com as mudanças efetuadas pela seleção, é importante conhecer como o melhoramento de uma característica pode causar mudanças simultâneas em outras. E, por fim, em conexão com seleção natural: a relação entre as características métricas e o poder adaptativo.

Tabela 4 – Correlações entre os valores genotípicos dos caracteres de crescimento, qualidade da madeira e carvão.

	DAP	Alt	IMA	C/A	Db	F. poros	F. parede	C. fibra	Lu. fibra	La. Fibra	T. extrat	L. total	Holocel	Cinzas	RGCV	Cz	Friabi	D. carvão
DAP	-	0.80	0.98	0.27	0.50	-0.03	0.58	0.32	-0.40	0.34	0.31	0.59	-0.52	-0.26	0.39	-0.54	-0.45	0.36
Alt		-	0.86	0.53	0.30	0.20	0.18	0.02	-0.03	0.38	0.32	0.76	-0.62	-0.25	0.57	-1	-0.29	0.18
IMA			-	0.35	0.43	0.06	0.47	0.24	-0.26	0.47	0.29	0.65	-0.55	-0.33	0.50	-0.61	-0.39	0.27
C/A				-	0.21	0.65	-0.22	-0.51	0.25	0.10	0.35	0.64	-0.55	-0.34	0.59	-0.59	-0.12	0
Db					-	-0.23	0.63	0.65	-0.66	-0.16	0.52	0.41	-0.50	0.02	0.15	-0.29	-0.61	0.97
F. poros						-	-0.56	-0.70	0.62	0.31	0.11	0.24	-0.20	-0.64	0.11	-0.53	0.36	-0.35
F. parede							-	0.78	-0.89	0.04	0.10	0.02	-0.06	0.29	-0.02	0.16	-0.45	0.62
C. fibra								-	-0.74	0.00	0.02	-0.13	0.05	0.36	-0.17	0.16	-0.40	0.71
Lu. fibra									-	0.39	-0.11	0.05	0.02	-0.48	0.19	-0.23	0.56	-0.69
La. Fibra										-	-0.10	0.19	-0.08	-0.48	0.36	-0.31	0.29	-0.28
T. extrat											-	0.76	-0.91	-0.14	0.47	-0.22	-0.53	0.47
L. total												-	-0.96	-0.25	0.79	-0.63	-0.57	0.28
Holocel													-	0.24	-0.69	0.51	0.59	-0.40
Cinzas														-	-0.12	0.63	-0.24	0.14
RGCV															-	-0.34	-0.45	-0.01
Cz																-	0.23	-0.18
Friabi																	-	-0.58
D carvão																		-

DAP: Diâmetro a altura do peito (cm); Alt: Altura total da árvore (m); IMA: Incremento médio anual ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano$ ); L. Cinzas: Teor de cinzas (%); Relação cerne/alburno; Db: Densidade básica da madeira ( $Kg/m^3$ ); L. poros: Diâmetro do lume de poros ( $\mu m$ ); F. poros: Frequência de poros ( $mm^2$ ); P. fibra: Espessura da parede da fibra ( $\mu m$ ); F. parede: Fração de parede (F. parede); C. fibra: Comprimento de fibras (mm); Lu. fibra: Diâmetro do lume da fibra ( $\mu m$ ); La. Fibra: Largura de fibra ( $\mu m$ ); T. extrat: Teor de extrativos (%); L. total: Lignina total (%); Holocel: Holocelulose (%); Cz : Teor de cinzas no carvão vegetal(%). Observamos a escala de cores, sendo o azul mais escuro: correlação positiva e mais próxima de 1; e azul mais claro: correlação positiva mais próxima de 0; vermelho mais escuro correlação negativa mais próxima de -1, e vermelha mais clara negativa mais próxima de zero.

Observou-se na matriz de correlação que para DAP e Alt; e DAP e IMA foram encontradas altas correlações genéticas, sendo 0,80 e 0,98, respectivamente. Macedo et al. (2013), avaliando as correlações genéticas em caracteres de crescimento de 52 progênies de polinização aberta de *E. tereticornis*, em três populações da Austrália, encontraram fortes correlações entre o DAP e a altura (0,90), e, DAP e volume (0,98). Estes autores mencionam a grande importância destes resultados, podendo assim, aumentar a altura e o volume através da seleção por DAP.

Paula et al. (2002), avaliando os ganhos preditos por diferentes critérios de seleção em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis*, encontraram as menores correlações genóticas envolvendo densidade e caracteres de crescimento, DAP, altura, volume com casca e volume sem casca indicando que a seleção nesta característica promoveria pequenas variações nas demais, sendo estas 0,53; 0,35; 0,47; e 0,43. Neste trabalho encontrou-se valores similares de correlações genóticas entre densidade e crescimento, concordando com o descrito por Paula et al. (2002), com valores para Db e DAP: 0,50; Db e Alt:0,30; Db a IMA: 0,43.

Para a Db, Densidade básica da madeira, um dos caracteres de maior importância, identificou-se correlações genóticas em relação aos caracteres anatômicos. Observou-se correlação genotípica média e negativa para Lu.fibra (-0,66); baixa e negativa para La.fibra (0,-16); média e positiva para F.parede (0,63), C. fibra (0,65).

A existência de correlações entre a densidade e as dimensões das fibras com parede celular espessa e lúmens reduzidos indica a possibilidade de produção de carvão vegetal mais denso e com menor volume de poros (OLIVEIRA, 1988). De acordo com Paula (2005), quanto maior for a fração parede, as fibras terão maiores quantidades de celulose, lignina e hemiceluloses e, conseqüentemente, mais componentes geradores de energia. O que corrobora com o encontrado em nosso trabalho, sendo que os três melhores clones estão entre os cinco melhores clones para Db. Paula (2005) menciona que, madeiras ricas em fibras de alta fração parede devem ser recomendadas para a geração de energia, seja pela queima direta ou pela produção de carvão vegetal.

O caractere C. fibra, comprimento de fibra, mostrou a maior correlação positiva, das características anatômicas, apresentando alteração no ranking de seleção, mas exibiu igualdade de ocorrência para todos os cinco melhores clones, híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, para a Db (Densidade básica). A maior correlação negativa entre

densidade e as características anatômicas foi observada para o Lu.fibra, Lume de fibra, que apresentou congruência na seleção de quatro dos cinco melhores materiais para densidade básica (Db), para 1/lu.fibra (Inverso do diâmetro do lume da fibra).

A densidade depende da proporção de vasos e da espessura da parede celular das fibras (OLIVEIRA & SILVA, 2003). O aumento da densidade pode ser resultado do aumento da espessura da parede celular das fibras ou da proporção das fibras em relação à proporção de vasos. De modo contrário, a redução da densidade pode estar relacionada ao aumento na proporção de vasos, com ou sem decréscimo na espessura da parede celular.

Em relação à frequência de poros, Ruy (1998) e Lima et al. (2011) verificaram que maiores densidades básicas estão associadas à estrutura anatômica da madeira com baixa frequência de poros, o que está de acordo com o encontrado, sendo que, três dos cinco melhores para densidade básica (Db), clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, apresentaram os maiores valores de 1/F.poros, perfazendo as menores frequências de poros.

Observou-se correlações médias e positivas entre a Db (Densidade básica) e o teor de extrativos (T.extrat) e lignina total (L.total). A correlação entre Db e teor de extrativos foi de 0,52. Para produção de carvão vegetal, a presença de altos teores de extrativos é indesejável por que a maioria desses compostos se degrada em baixas temperaturas. Contudo, Frederico (2009), avaliando a Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis*, ressalta que dependendo da natureza química e da degradação térmica dos extrativos presentes na madeira, sua maior porcentagem poderá colaborar para o aumento no PCS do carvão, além de elevar o rendimento em carbono fixo.

Os valores de Lignina total são demasiadamente importantes para o rendimento e a qualidade do carvão vegetal, este fato relaciona-se com a maior resistência à degradação térmica das ligninas, quando comparadas às holoceluloses, e apresentar correlação positiva para a densidade básica, conforme observado neste trabalho, potencializando a seleção de clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*. Verifica-se também, que o teor de lignina total influenciou positivamente o PCS da madeira (PCS M). Tal correlação também foi observada por Santos (2011), que estudou as correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto, e encontrou coeficiente de correlação igual a 0,59.

Foi observada correlação positiva entre a relação cerne/alburno (C/A) e o RGCV, o que pode estar relacionado ao fato de C/A também possuir uma correlação positiva com lignina total (L.total) que contribui efetivamente para o rendimento e se concentra na região do cerne.

Para teor de extrativos (T.extrat) encontrou-se correlação positiva com o RGCV, de 0,47. Este resultado é condizente com o obtido no trabalho de Frederico (2009), que encontrou correlação positiva (0,37), a 10% de probabilidade, entre o teor de extrativos e o rendimento em carvão vegetal. Em outros estudos, porém, não foram encontradas correlações significativas entre o teor de extrativos e o RGCV, como os trabalhos desenvolvidos por Castro (2011), Santos *et al.* (2011) e Soares (2011).

Uma correlação de alta magnitude e positiva foi encontrada entre a densidade básica da madeira (Db) e densidade relativa aparente do carvão (D.carvão), sendo esta de 0,97. Resultados semelhantes foram obtidos por Brito e Barrichelo (1980) ao estudarem carvão vegetal proveniente de *Eucalyptus* sp, em diferentes idade, por Frederico (2009) que avaliou um clone de *Eucalyptus grandis* e quatro clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos três anos, e por Santos (2010) que estudou a madeira de clones de *Eucalyptus* sp, aos sete anos. Segundo Brito e Barrichelo (1980), essa correlação pode servir para nortear a escolha e o melhoramento de espécies destinadas à produção de carvão.

Correlações positivas foram observadas entre D.carvão e fração parede (F.parede) 0,62, e comprimento de fibra (C.fibra) 0,71; e, negativas entre D.carvão e lume de fibra (Lu.fibra) -0,69, e frequência de poros (F.poros) -0,35; demonstrando a importância dos caracteres anatômicos para a densidade. Paula (2005) menciona que, madeiras ricas em fibras de alta fração parede devem ser recomendadas para a geração de energia, seja pela queima direta ou pela produção de carvão vegetal.

#### 4. CONCLUSÕES

As herdabilidades para as médias dos clones apresentaram elevada magnitude, conduzindo a altas acurácias na seleção de clones.

O ranking de seleção dos clones divergiu para as diferentes características em estudo, contudo para o programa de melhoramento genético em questão torna-se de maior importância indicar os materiais selecionados para o caractere Densidade Básica (Db) e que também foram selecionados para outros caracteres importantes: 4COR, selecionado também para F. poro, RGCVe 1/Friabi e, 8COR, selecionado também para F.parede, C.fibra e Lu. Fibra, e PCS C.

As correlações genéticas entre os caracteres estudados apresentaram consonância com os resultados de outros pesquisadores. Como principal resultado observou-se que a densidade básica da madeira e a Densidade aparente do carvão estão correlacionadas com caracteres anatômicos e químicos, sendo as magnitudes de médias a baixas, alterando o sentido de positivo e negativo.

Observou-se correlação de média magnitude e positiva entre Db e: F.parede, C.fibra, T.extrat, L.total; baixa magnitude e positiva: C/A e P.fibra, alta magnitude e negativa: Lu.fibra; baixa magnitude e negativa: F.poros.

Observou-se correlação de alta magnitude e positiva entre D. carvão com: Db; de média magnitude e positiva com: F.parede, C.fibra, La. Fibra T.extrat, L.total; baixa magnitude e positiva: C/A; média magnitude e negativa: Lu.fibra; baixa magnitude e negativa: F.poros.

Importante mencionar que se observou ainda, correlação de média magnitude e positiva entre RGCV e C/A.

Observou-se que os estudos destes caracteres se fazem necessários, sendo indicado pela divergência entre os clones em posicionamento no ranking de seleção.

Os resultados revelaram boas perspectivas para o uso comercial de material genético do gênero *Corymbia*, fato que pode impactar favoravelmente o setor de siderurgia à base de carvão vegetal.

## REFERÊNCIAS

- ASSIS, T. F. Melhoramento genético de *Eucalyptus*: Desafios e perspectivas. **3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.
- ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia: 1982.
- BARCELLOS, D.C.; COUTO, L.C.; MULLER, M.D.; COUTO, L. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, v.2, n.2, p. 141-158, 2005.
- CASTRO, A.F.N.M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 97p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; PROTÁSSIO, T. de P. Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 817-831, dez. 2015.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. Ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 514p.
- DADSWELL, H.E. The anatomy of eucalypt wood. **CSIRO Forest Products Laboratory**, Melbourne, n.66, p.1-28, 1972.
- EVANGELISTA, W.V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. 120p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- FALCONER, D. S. **Introdução a genética quantitativa**. Trad. De Martinho Almeida e Silva e José Carlos Silva. Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1987. 287p.
- FOELKEL, C.E.B., BARRICHELO, L.E.G., MILANEZ, A.F. Estudo comparativo das madeiras de *E. saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, n.10, p.17-37, 1975.

FREDERICO, P. G. U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake.** 2009. 75f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWING, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

LIMA, I.L.; GARCIA, R.; LONGUI, E.L.; FLORSHEIM, S.M.B. Dimensões anatômicas da madeira de *Tectona grandis* Linn. em função do espaçamento e da posição radial do tronco. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 061-068, mar. 2011.

MACEDO, H. R.; FREITAS, M. L. M.; MORAES, M. L. T. de; ZANATA, M.; SEBBEN, A. M. Variação, herdabilidade e ganhos genéticos em progênes de *Eucalyptus tereticornis* aos 25 anos de idade em Batatais-SP. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 41, n. 100, p. 533-540, dez. 2013

MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. B. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p. 43-50, 2009.

OLIVEIRA, E. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden).** 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLIVEIRA, J.T.S; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, v 27, n. 3, p. 381-385, 2003.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; SEVERO, E. T. D.; REZENDE, M. A.; ABREU, H. S. Determinação da densidade da madeira de *Pinus elliottii* Englm, através de atenuação de radiação gama comparada a métodos tradicionais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n.1, p. 01-06, 2004.

PAULA, C. de; PIRES, I. E.; BORGES, R. C. G.; CRUZ, C. D. Predição de ganhos genéticos em melhoramento florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.37, n. 2, p. 159-165, fev. 2002.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, Lavras, v. 11, n.1, p. 90-100, 2005.

PIGATO, S. M. P. C.; LOPES, C. R. Avaliação da variabilidade genética em quatro gerações de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake por meio de marcador molecular RAPD. **Scientia Forestalis**. São Paulo. n. 60. p.119-133, 2001.

PIRES, E. I.; RESENDE, M. D. V. de; SILVA, R. L. da; RESENDE Jr, M. F. R. **Genética florestal**. Viçosa, MG: Arka, 2011. 318 p.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo: Embrapa Florestas, 2002.975 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. 2011. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2011.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 964-971, 2012.

ROWELL, R.M., S. LEVAN-GREEN, 2005. Thermal properties. In: **Hand book of wood chemistry and wood composites**, Rowell, R.M. (Ed.). Boca Raton: CRC Press, p.121-138.

RUY, O.F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake da Ilha de Flores, Indonésia**. Piracicaba, 1998. 69 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CASTRO, A.F.M.; CASTRO, R.V.O.; BIANCHE, J.J.; CARDOSO, M.T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis, Piracicaba**, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e de carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010, 173 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, 2011.

SETTE JR., C. R.; OLIVEIRA, I. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; YAMAJI, F. M.; LACLAU, J. P. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1183-1190, 2012

SHEN, R.; GU, S.; BRIDGWATER, A.V. The thermal performance of the polysaccharides extracted from hardwood: Cellulose and hemicelluloses. **Carbohydrate Polymers**, v.82, p. 39-45, 2010.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.

TOLFO, A. L. T.; PAULA, R. C.; BONINE, C. A. V.; BASSA, A.; VALLE, C. F. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, n. 67, p. 101-110, 2005.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. da. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de Jatobá (*Himenea courbaril* L.). **Scientia Agraria**, Piracicaba, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**: Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto. 1992. 496p.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

WALLIS, A.; WEARNE, R.; WRIGHT, P. J. Analytical characteristics of plantation eucalypt woods relating to kraft pulp yields. **Appita Journal**, v. 49, n. 5, p. 427-432, 1996.

YANG, H.; YAN, R.; CHEN, H.; LEE, D. H.; ZHENG, C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v. 86, p. 1781-1788, 2007.

### **Índice de seleção de produção de carvão em teste clonal de *Corymbia***

#### **RESUMO**

Buscando alternativas para regiões anteriormente inexploradas, frente às novas ocorrências de pragas, doenças e distúrbios climáticos, recentemente cresceu o interesse pelos híbridos do gênero *Corymbia*. Além do crescimento, adaptação e propriedades importantes para qualidade da madeira, apresentam alta resistência ao vento e à seca de ponteiros do eucalipto do Vale do Rio Doce. Com o objetivo de identificar clones potenciais para a região do Rio Doce, foi implantado um teste clonal com híbridos de espécies do gênero *Corymbia*. Buscando auxiliar na seleção de materiais genéticos, frente ao grande número de variáveis manuseadas em um programa de melhoramento, torna-se importante avaliar a construção de um índice de seleção de fácil análise e interpretação. Construiu-se um índice de seleção (Índice de produção de carvão (PC)), que reuniu características de crescimento (Incremento médio anual (IMA,  $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ )), qualidade da madeira (Densidade básica da madeira (Db,  $Kg/m^3$ )) e carvão (Rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGCV, %)). Estudou-se a variabilidade e a herdabilidade do PC, IMA, Db e RGCV, além de ganhos genéticos e a seleção de clones potenciais para o cultivo na região do Rio Doce. Este teste foi realizado na área Experimental da empresa ArcelorMittal BioFlorestas. O delineamento foi o de blocos ao acaso, com 18 repetições (uma planta por parcela) e 13 tratamentos (12 clones híbridos de *Corymbia torelliana* e *Corymbia citriodora* e um clone de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*). O espaçamento foi de 3,0 x 2,5 m e a avaliação foi realizada aos 69 meses. Houve efeitos significativos de clones para todas as características avaliadas, o que denota possibilidade de ganhos com a seleção. As estimativas de herdabilidade em nível de médias de clones foram de elevada magnitude. O ranking de seleção dos clones diverge para as diferentes características em estudo, contudo para o programa de melhoramento genético em questão torna-se de maior importância analisar e indicar os materiais melhores qualificados para o PC, por englobar crescimento, qualidade da madeira e carvão. Neste caso, o clone 8COR, é destaque, além de

apresentar o melhor desempenho também para crescimento. O índice de seleção construído possibilita uma seleção mais focada no ganho geral e facilita a tomada de decisão. Os resultados revelaram boas perspectivas para o uso comercial de material genético do gênero *Corymbia*, fato que pode impactar favoravelmente o setor de siderurgia à base de carvão vegetal.

**Palavras-chave:** Melhoramento florestal, seleção de clones e qualidade da madeira.

## ABSTRACT

Searching for alternatives to previously unexplored regions, in the face of new occurrences of pests, diseases and climatic disturbances, interest in hybrids of the genus *Corymbia* has recently increased. In addition to the growth, adaptation and properties important to wood quality, they present high resistance to wind and drought of *Eucalyptus* pointers of the Rio Doce region. In order to identify potential clones for the Rio Doce region, a clonal test was implemented with hybrids of species of the genus *Corymbia*. Aiming to assist in the selection of genetic material, in view of the large number of variables handled in an improvement program, it is important to evaluate the construction of a selection index for easy analysis and interpretation. A selection index (Coal Production Index (PC)), which met growth characteristics (annual mean increment (IMA,  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ )), wood quality (Basic wood density (Db,  $\text{kg} / \text{m}^3$ )) and charcoal (Charcoal gravimetric yield (RGCV, %)). The variability and heritability of PC, IMA, Db and RGCV, as well as genetic gains and the selection of potential clones for cultivation in the Rio Doce region were studied. This test was carried out in the experimental area of ArcelorMittal BioFlorestas. The experimental design was a randomized block design with 18 replicates (single tree plot) and 13 treatments (12 hybrid clones of *Corymbia torelliana* and *Corymbia citriodora* and one clone of *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*). The spacing was 3.0 x 2.5 m and the evaluation was performed at 69 months. There were significant effects of clones for all characteristics evaluated, which indicates possibility of gains with the selection. Heritability estimates at clone means levels were of high magnitude. The clone selection ranking diverges for the different characteristics under study, however, for the genetic breeding program in question, it is more important to analyze and indicate the best materials qualified for the PC, for growth, quality of wood and charcoal. In this case, the 8COR clone is featured, in addition to presenting the best performance also for growth. The built-in selection index allows for a selection that is more focused on overall gain and facilitates decision making. The results revealed good prospects for the commercial use of genetic material of the genus *Corymbia*, a fact that can favorably impact the charcoal-based steel industry.

**Key words:** Forest improvement, clone selection and wood quality.

## 1. INTRODUÇÃO

Os programas de melhoramento de *Eucalyptus* e *Corymbias*, atuais, passaram a manusear um número grande de variáveis: produtividade, qualidade da madeira, qualidade do produto final, melhoria nas condições adaptativas, resistência a pragas e doenças. Desta forma a seleção de um material genético passa por várias de análises, podendo algumas vezes apresentar divergências no ranking de seleção. Nesse caso, o uso de índice de seleção pode auxiliar na escolha dos melhores clones e/ou progênies.

Para tanto, a correta definição dos objetivos para seleção e, conseqüentemente a direção do melhoramento são os quesitos primordiais para o sucesso tanto em ganho imediato quanto em longo prazo. As variações nas propriedades da madeira são grandes entre espécies, embora dentro da mesma espécie elas também ocorram principalmente em função da idade e de fatores genéticos e ambientais.

A qualidade da madeira pode ser definida como o conjunto de características físicas, químicas e anatômicas que uma árvore/parte dela possui, as quais lhe permite cumprir requisitos de propriedade para diferentes produtos finais (MITCHELL, 1961). O termo qualidade da madeira possui distintos significados para os diversos usos aos quais a madeira é destinada. Assim, é preciso empregar análises capazes de gerar informações acerca da qualidade da madeira, de acordo com o produto final pretendido.

Na produção de carvão vegetal utiliza-se principalmente o gênero *Eucalyptus*, em virtude do seu rápido crescimento e de sua grande plasticidade, o que permite a ampla distribuição geográfica no território brasileiro.

Durante muitos anos, preocupou-se somente com o aumento da produtividade dos plantios florestais de *Eucalyptus*, não incorporando as características tecnológicas da madeira aos aspectos econômicos e silviculturais, sendo que o rendimento e qualidade do carvão vegetal são influenciados diretamente pelas propriedades da madeira. Em decorrência da busca por melhor qualidade do produto final, do aumento da produtividade do processo, além de expansão para regiões não tradicionais e resistência a pragas e doenças, as empresas florestais vêm sendo motivadas a buscar soluções para a produção de carvão vegetal homogêneo, com alto rendimento, elevada qualidade e baixo custo.

Segundo Assis (2014), os híbridos entre espécies do gênero *Corymbia* apresentam grande potencial para utilização como matéria prima para carvão, madeira serrada, energia,

postes, madeira tratada e celulose. Esses cruzamentos, ainda pouco explorados comercialmente, têm potencial para se tornarem importantes para programas de produção de carvão vegetal, celulose e outros produtos obtidos do eucalipto.

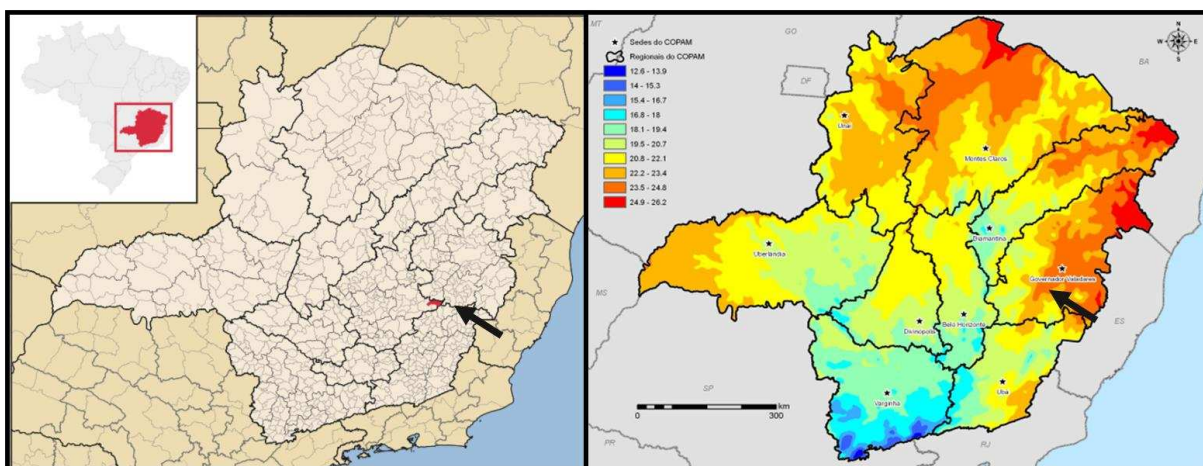
Existem várias metodologias que apresentam vantagens e desvantagens para a construção de índice de seleção. Neste trabalho buscou-se construir um índice de produção de carvão vegetal, envolvendo crescimento, qualidade da madeira e qualidade de carvão que possibilitaria a seleção focada no potencial final de cada material genético

Esta pesquisa teve por objetivo criar um índice que fosse de fácil análise e interpretação e desta forma possibilitar a avaliação genética de clones de híbridos de espécies do gênero *Corymbia*. De forma específica, objetivou-se identificar clones potenciais, para o cultivo na região do Rio Doce, para carvão vegetal.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material experimental

A presente pesquisa foi realizada na ArcelorMittal BioFlorestas, empresa pertencente ao Grupo ArcelorMittal, no Município de Dionísio, Minas Gerais. O local apresenta precipitação média anual de 1900 mm, umidade relativa 73%, temperatura média de 20,2° C (Max: 30,2° C, Min: 11,8° C), altitude de 450 m e vegetação típica de mata atlântica. (Figura 1)



**Figura 1.** Localização de Dionísio, em Minas Gerais. Mapa com divisões regionais e Mapa das classes de temperatura média anual (°C) para o Estado de Minas Gerais. Fonte: o autor.

A implantação foi realizada em 20 de novembro de 2008 e a avaliação realizada em agosto de 2014. Os materiais foram plantados em latossolo vermelho amarelo, no espaçamento de 3,0 x 2,5 m. Foram avaliados 12 clones híbridos de espécies do gênero *Corymbia* e 01 clone do gênero *Eucalyptus*, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1 – Identificação dos clones dos gêneros *Corymbia* e *Eucalyptus* avaliados no teste clonal.

<b>Identificação</b>	<b>Material Genético</b>	<b>Empresa</b>
<b>01TEST</b>	<i>Eucalyptus urophylla</i> x <i>Eucalyptus grandis</i>	Empresa 1
<b>02COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2
<b>03COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>04COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>05COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>06COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>07COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>08COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>09COR</b>	<i>Corymbia torelliana</i> x <i>Corymbia citriodora</i>	Empresa 2
<b>10COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2
<b>11COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2
<b>12COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2
<b>13COR</b>	<i>Corymbia citriodora</i> x <i>Corymbia torelliana</i>	Empresa 2

O desempenho silvicultural destes clones foi avaliado em teste clonal no delineamento de blocos ao acaso, com 18 repetições e parcelas de planta única (single tree plot). As mudas utilizadas foram produzidas por miniestaquia e conduzidas seguindo os manejos habituais de um viveiro clonal. O preparo de solo, manutenções e dosagens de adubações seguiram os métodos utilizados nos plantios comerciais. A recomendação de adubação contou com a aplicação: pré-plantio 2000 kg/ha de Agrosilício; no plantio Basifós Forest 0,3% de B + 0,2% de Zn + 0,2% de Cu, 440 kg/ha; primeira cobertura aos 6 meses NPK 180018 + 1% de B + 4% de S, 170 kg /ha; segunda cobertura 1 ano NPK 150030 + 0,7% de B + 6% de S, 210 kg/ha; e terceira cobertura no 2 ano NPK 150030 + 0,7% de B + 6% de S, 210 kg/ha.

## **2.2. Metodologia experimental**

### **2.2.1. Características de crescimento avaliadas**

Aos 69 meses de idade do teste clonal foram mensurados o CAP (circunferência a altura do peito (1,30 metros) e a Alt (altura total) de cada indivíduo de todas as repetições, com o auxílio de uma fita diamétrica e do clinômetro, respectivamente. Foi calculado o DAP em centímetros, o Volume e o IMA.

$$DAP = Cap / \pi$$

$$Vol\ da\ árvore = f \times \left( \pi \times \left( \frac{(CAP/\pi)^2}{40000} \right) \times Alt \right)$$

$$IMA = \frac{Vol/ha}{Idade}$$

Sendo, o  $f$  (fator de forma) igual a 0,5; Idade igual a 5,75 anos (69 meses);  $\pi$  igual 3,1416.

Variáveis e abreviações utilizadas:

Variável	Abreviação
Diâmetro a altura do peito (cm)	DAP
Altura total da árvore (m)	Alt
Incremento médio anual (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .ano)	IMA

### 2.2.2. Características da madeira avaliadas

De cada árvore foram retirados seis discos de 5 cm de espessura, correspondentes a 0%, DAP (diâmetro à altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, até o diâmetro mínimo de 4 cm. Inicialmente, fez-se a medição de cada disco. Dos discos foram obtidas duas cunhas opostas, passando pela medula, utilizadas para determinação da densidade básica da madeira.

A densidade básica da madeira (Db) foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

Para obter o valor final para a Db, foram utilizados os valores médios finais de densidade básica de cada clone. Para isso considera-se a ponderação das densidades das cunhas retiradas ao longo do tronco, utilizando o volume das toras entre dois discos consecutivos como fator de ponderação (VITAL, 1984).

Variável	Abreviação
Densidade básica da madeira (Kg/m <sup>3</sup> )	Db

### 2.2.3. Características do carvão avaliadas

Após o seccionamento da árvore em 0%, DAP (diâmetro à altura do peito), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, até o diâmetro mínimo de 4 cm, seguiu-se a avaliação no Processo de Carbonização da Madeira e das Propriedades do Carvão Vegetal.

O restante de cada disco que foi seccionado, e retirada as cunhas opostas para densidade, foram destinados à carbonização, formando-se uma amostra composta para tal. Após cada carbonização, foram determinados os rendimentos gravimétricos em carvão.

#### a. Carbonização da madeira

Para carbonização, foram retiradas amostras de cada disco ao longo da altura comercial da árvore, obtendo-se uma amostra composta. Esta amostra foi, então, seca em estufa, a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , em média até 24 horas, até massa constante. Foram feitas duas carbonizações por árvore.

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico tipo mufla, utilizando-se aproximadamente de 350g de madeira, que foram inseridas em um recipiente metálico com dimensões nominais de 0,3 m de comprimento, 0,12 m de diâmetro e um volume de aproximadamente  $0,003\text{ m}^3$ . O controle de aquecimento foi feito manualmente, com incrementos de  $50^{\circ}\text{C}$  a cada 30 minutos, o que corresponde a uma taxa de aquecimento média de  $1,67^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ . A temperatura inicial foi de  $150^{\circ}\text{C}$  e a temperatura final de  $400^{\circ}\text{C}$ , permanecendo estabilizada nesta última por um período de 60 minutos. Os gases condensáveis foram recuperados por meio de um condensador tubular adaptado à porta da mufla. Após as carbonizações, os rendimentos gravimétricos em carvão foram determinados, com base na massa seca da madeira.

Variável	Abreviação
Rendimento gravimétrico do carvão vegetal (%)	RGCV

#### **2.2.4. Construção do índice de qualidade**

Foi desenvolvido um índice de produção de carvão (PC), com o objetivo de criar um ordenamento que unisse o crescimento no local do teste (IMA), a qualidade da madeira (Db) e a produção de carvão vegetal (RGCV). Dessa forma o índice foi criado utilizando o resultado dos três caracteres de cada árvore dos materiais genéticos avaliados, conforme fórmula de determinação:

$$PC = IMA \times Db \times RGCV$$

PC: Índice de produção de carvão

IMA: Incremento médio anual ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ )

Db: Densidade básica da madeira ( $Kg/m^3$ )

RGCV: Rendimento gravimétrico do carvão vegetal (%)

#### **2.2.5. Estimativas de parâmetros genéticos e estatísticas**

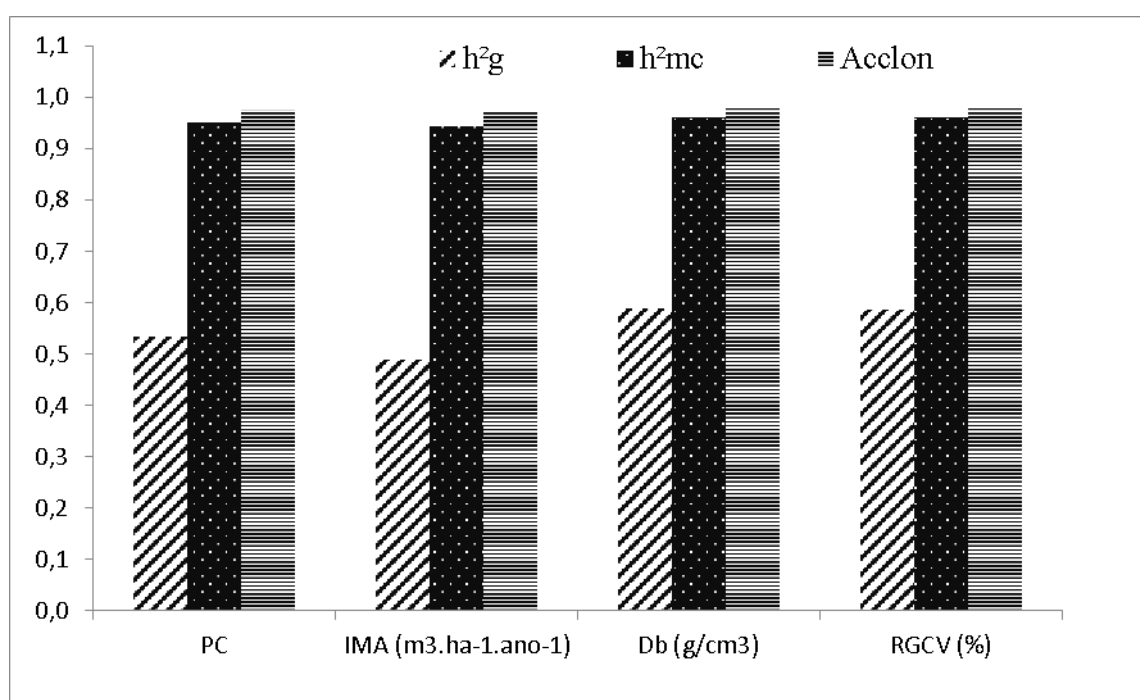
O modelo estatístico utilizado foi  $y = Xr + Zg + e$ , em que  $y$  é o vetor de dados,  $r$  é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral,  $g$  é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), e  $e$  é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Seguiu-se o preparo adequado dos dados e os passos habituais para uso do software SELEGEN REML/BLUP na versão de Junho de 2014, onde as análises foram realizadas pelo procedimento de estimação de componentes de variância (Reml) e de predição de valores genéticos (Blup).

#### **2.2.6. Correlação genética entre as características analisadas**

As correlações genotípicas ou correlações entre os valores genotípicos foram obtidas através do software SELEGEN, onde após analisar todas as variáveis de interesse segundo o modelo informado no tópico 2.2, utilizou-se o modelo adequado para tal finalidade.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros genéticos das características analisadas foram estimados e podem ser observados na Figura 2. As estimativas dos parâmetros genéticos, como herdabilidade dos caracteres são importantes para determinar os ganhos decorrentes na seleção de genótipos em programas de melhoramento florestal (LI et al., 2017). A herdabilidade é um dos mais importantes parâmetros genéticos, pois quantifica a fração da variação fenotípica de natureza herdável, passível de ser explorada na seleção.



**Figura 2.** Estimativas dos parâmetros genéticos (REML individual), para os caracteres incremento médio anual (IMA, m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), densidade básica da madeira (Db, Kg/m<sup>3</sup>), rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGCV,%) e índice de produção de carvão (PC), aos 69 meses, referente ao teste clonal.  $h^2g$  : Coeficiente de herdabilidade individual no sentido amplo; Acclon: Acurácia genética na seleção de clones;  $h^2mc$ : Herdabilidade da média de clones.

Resende (2002) classifica as magnitudes de herdabilidades individuais em: baixa, quando varia de 0,01 a 0,15; média ou moderada, que varia de 0,15 a 0,50; alta, quando acima de 0,50. Logo os caracteres que apresentaram herdabilidade alta foram: PC (0,53), Db (0,59) e RGCV (0,59). O IMA apresentou herdabilidade de 0,49, considerada moderada. Assim, observamos que há grande potencial para seleção dentro do experimento, com boas

perspectivas para a seleção de clones de *Corymbia* para a produção de carvão vegetal, no local avaliado.

A herdabilidade da média de clones ( $h^2_{mc}$ ) é estimada quando se usam médias como unidade de avaliação/seleção. Este é o parâmetro que interessa para a predição do sucesso do melhoramento na seleção de clones, em que os valores genotípicos são preditos com base em média de várias repetições (MAIA et. al, 2009). A  $h^2_{mc}$  para os caracteres avaliados, apresentaram valores de alta magnitude, o que indica um bom controle genético na expressão dos caracteres conforme Figura 1. Observamos que todos os caracteres que apresentaram herdabilidade alta: IMA (0,94), PC (0,95), Db (0,96) e RGCV (0,96).

Tolfo (2005) estimando parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, produção e tecnológicos de 25 clones de *Eucalyptus* spp., em teste clonal, indicou que os parâmetros estudados apresentaram altas estimativas de herdabilidade ( $h^2 > 0,67$ ). Este mesmo autor concluiu que as estimativas de herdabilidade, no sentido amplo, sendo de alta magnitude para grande maioria dos caracteres, evidencia o bom controle genético e a possibilidade de avanços genéticos expressivos com a seleção. Podemos vislumbrar este possível ganho para seleção mediante os caracteres avaliados.

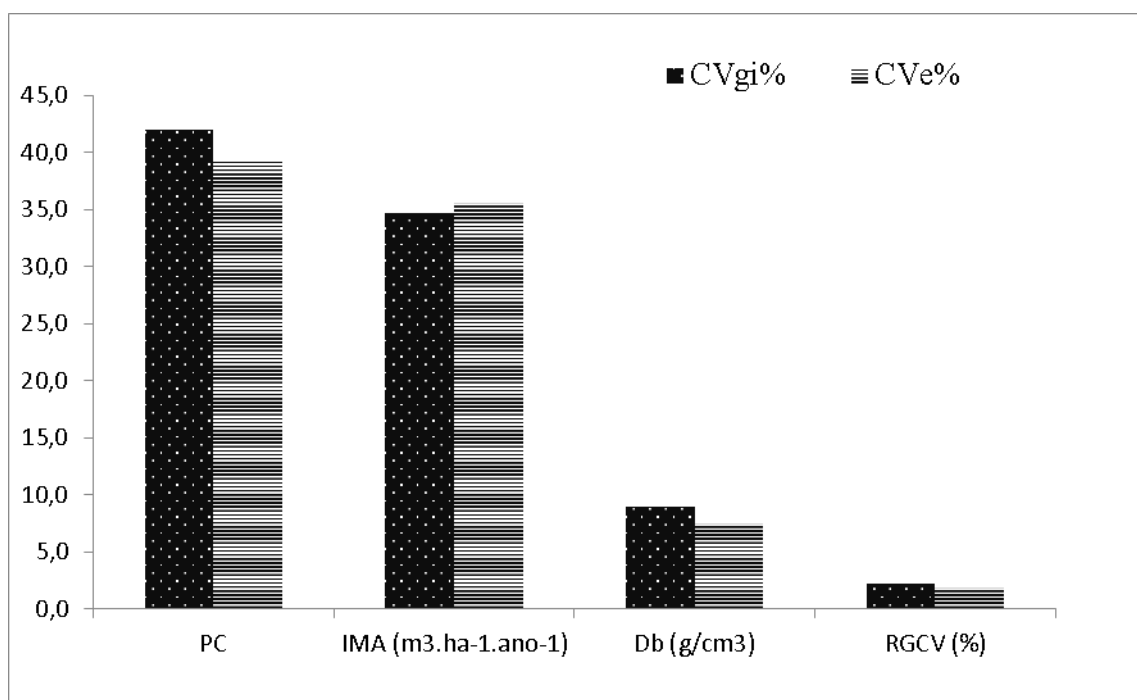
De acordo com Resende & Duarte (2007), acurácias acima de 0,70 são suficientes para avaliações numa população de melhoramento, e quando o objetivo é a avaliação do Valor de Cultivo e Uso (VCU), as acurácias devem ser superiores a 0,90. No presente trabalho, observou-se que todos os caracteres apresentaram acurácias acima de 0,90: IMA (0,97), PC (0,98), Db (0,98) e RGCV (0,98). Esses valores elevados de acurácia (RESENDE & DUARTE, 2007) demonstram a excelente qualidade experimental, o cuidado e o rigor técnico na montagem e avaliação dos experimentos.

Na recomendação de clones para plantio comercial, é desejável um alto grau de precisão experimental e, conseqüentemente uma alta acurácia na inferência sobre as médias genotípicas. Com isso, a acurácia seletiva possibilita informar sobre o correto ordenamento das cultivares para fins de seleção e, também, sobre a eficácia da inferência acerca do valor genotípico da cultivar, isto é, do seu VCU (RESENDE, 2002).

A recomendação e registro de cultivares no Brasil, diversas culturas têm adotado o VCU (RESENDE e DUARTE, 2007), porém ainda não é prática para a cultura dos *Eucalyptus*. O VCU deveria ser utilizado para registro de cultivares de *Corymbias* e *Eucalyptus*, pois tem-se uma recomendação mais acurada do desempenho dos cultivares nos

diferentes ambientes de seleção para plantio comercial, podendo ser utilizada como base de comparação para diferentes caracteres. Neste trabalho temos um exemplo claro desta possibilidade para crescimento, qualidade da madeira e qualidade do carvão vegetal.

O RGCV apresentou o menor valor do coeficiente de variação genotípico 2,21 %, o que indica menor variabilidade entre os materiais. Os demais caracteres apresentaram valores moderados a altos, Db (8,92), IMA (34,72) e PC (42,02). (Figura 3)



**Figura 3.** Estimativas dos parâmetros genéticos (REML individual), para os caracteres incremento médio anual (IMA, m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), densidade básica da madeira (Db, Kg/m<sup>3</sup>), rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGCV,%) e índice de produção de carvão (PC), aos 69 meses, referente ao teste clonal. CVgi%: coeficiente de variação genotípica; CVe%: coeficiente de variação residual; CVr: coeficiente de variação relativa.

Observamos um alto valor de variação genotípica (42,02), sinalizando a presença de variabilidade genética que possibilitará a seleção entre os clones. Rosado (2012), em análise de 21 clones de espécies do gênero *Eucalyptus*, objetivando a seleção simultânea, encontrou altos valores para o coeficiente de variação genotípica (5,74% a 22,7%), e indicou que caracterizavam a existência de variabilidade genética entre os clones, para os caracteres avaliados, e que reforçavam os indicativos de que grande parte da variação total era de

natureza genética. Segundo Resende (2002), quanto maior o valor do CV<sub>gi</sub>, maiores as chances de se obter ganho genético na seleção de clones.

De acordo com Cruz (2012), a possibilidade de prever ganhos por uma estratégia de seleção constitui-se em uma das principais contribuições da genética quantitativa. Por meio dessas informações, é possível orientar de maneira mais efetiva o programa de melhoramento, prever o sucesso de seleção adotado e decidir, com base científica, pela técnica mais eficaz.

Nesta análise, optou-se em construir um índice de produção de carvão vegetal, envolvendo crescimento, qualidade da madeira e qualidade de carvão que possibilitou a seleção focada no potencial final de cada material genético avaliado. Na sequência seguem os resultados de ganhos com a seleção dos caracteres utilizados para a construção do índice: incremento médio anual (IMA, m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), densidade básica da madeira (Db, Kg/m<sup>3</sup>) e rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGCV, %), Tabelas 01, 02 e 03, respectivamente.

O clone 8COR apresentou o maior ganho genético em relação à média geral do experimento para IMA, 68,91%, demonstrando sua superioridade, seguida pela testemunha (1TEST), com 51,01% (Tabela 2). O ganho genético em relação à média da testemunha (1TEST), para o clone 8COR foi de 11,86% para a seleção para IMA.

Tabela 2 - Ganho com seleção para o caráter incremento médio anual (IMA, m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	8COR	54,14	22,09	68,91	11,86
2	1TEST	48,40	19,22	51,01	0,00
3	5COR	35,81	14,06	11,72	-26,01
4	3COR	32,70	10,71	2,03	-32,44
5	11COR	31,07	8,37	-3,06	-35,80
6	7COR	30,91	6,79	-3,56	-36,14
7	4COR	30,45	5,59	-4,99	-37,08
8	6COR	30,05	4,64	-6,26	-37,92
9	2COR	27,39	3,61	-14,55	-43,41
10	9COR	27,10	2,75	-15,44	-44,00
11	10COR	24,78	1,84	-22,69	-48,80
12	12COR	24,64	1,07	-23,14	-49,10
13	13COR	19,24	0,00	-39,98	-60,25
Média da população: 32,05					

VG: Valores genotípicos

Observou-se, para o caráter IMA, uma grande diferença entre os dois primeiros colocados no ranking, 8COR e 1TEST, em relação aos demais clones, que passam a apresentar uma diferença para ganho genético em relação à média geral, inferior a 11,72% e chegando a -39,98%.

Uma das causas para a maioria dos clones apresentarem desempenho relativo inferior ao da testemunha deve-se ao fato das condições edafoclimáticas serem diferentes entre o local de origem e seleção dos clones de *Corymbia* testados, e o local do teste. O interesse pela análise de desempenho e adaptação destes clones nesta região surgiu pela possibilidade de resistência a Seca de Ponteiro do Vale do Rio Doce (SPVRD) e qualidade da madeira para carvão vegetal comentada por Assis (2014).

A instalação deste teste neste local e a obtenção dessas estimativas possibilitam a avaliação do real impacto de seleção e asseguram certo grau de confiabilidade na recomendação. Segundo Pires et al. (2011), a seleção de material genético superior é fundamental para alcançar elevada produtividade da plantação, para que estes ganhos sejam maximizados, é preciso proceder-se a caracterização dos genótipos nos seus aspectos produtivos e tecnológicos, sendo importante proceder a caracterização completa dos materiais.

Para Db, densidade básica da madeira, os seis primeiros materiais do ranking foram híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, apresentando valores (VG) de 542,93 a 609,99 Kg.m<sup>-3</sup> (Tabela 3).

O valor superior de densidade (539,73 Kg.m<sup>-3</sup>) apresentado pela testemunha (1TEST), esta um pouco acima dos valores encontrados por Couto (2015), o que é justificado por ser um material genético selecionado em um programa de melhoramento genético de *Eucalyptus*, com o objetivo de melhoria deste caráter, o que justificada também a sua colocação no ranking em relação aos híbridos do gênero *Corymbia*.

De maneira geral, a madeira dos eucaliptos apresenta densidade classificada como média, conforme descrito na literatura, mas segundo Assis (2014), a densidade para clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* é superior, acima de 600 kg/m<sup>3</sup> aos 7 anos, por essa razão, sua madeira tem sido muito valorizada, sobretudo com o aumento do interesse na produção de carvão vegetal e energia de biomassa.

Tabela 3 - Ganho com seleção para o caráter densidade básica da madeira (Db, Kg/m<sup>3</sup>), aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média das testemunhas (%)
1	4COR	609,99	74,28	13,87	13,02
2	3COR	585,11	61,84	9,22	8,41
3	8COR	576,26	54,74	7,57	6,77
4	9COR	556,20	46,18	3,82	3,05
5	5COR	552,35	40,27	3,11	2,34
6	2COR	542,93	34,76	1,35	0,59
7	1TEST	539,73	30,37	0,75	0,00
8	7COR	533,94	26,35	-0,33	-1,07
9	12COR	527,47	22,51	-1,54	-2,27
10	6COR	508,63	17,55	-5,06	-5,76
11	11COR	492,71	12,05	-8,03	-8,71
12	10COR	480,70	6,46	-10,27	-10,94
13	13COR	458,23	0,00	-14,46	-15,10
----- Média da população: 535,71 -----					

VG: Valores genotípicos

A densidade básica é um dos índices de qualidade da madeira mais importantes, e faz parte do quadro de características de seleção de materiais em diversos programas de melhoramento genético, de carvão vegetal e celulose. Essa propriedade é a mais utilizada para a avaliação da qualidade da madeira, uma vez que está correlacionada diretamente com a produção de massa seca, com as propriedades físico-mecânicas e pode ser facilmente determinada, além de se relacionar com a qualidade do produto (PALERMO et al., 2004; SANTOS, 2010). Por este motivo torna-se importante observar o destaque destes clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, para este caráter e sua participação na construção do índice de produção de carvão.

O ganho com a seleção para o caráter rendimento gravimétrico do carvão vegetal segue descrito da Tabela 4. Observou-se que o primeiro colocado na seleção foi o clone 1TEST, testemunha, apresentando o valor (VG) de 38,03%, seguido pelos clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*: 6COR (37,39%), 7COR (36,92%), 4COR (36,83%), 13COR (36,39%).

Tabela 4 - Ganho com seleção para o caráter rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGCV, %), aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	1TEST	38,03	1,61	4,43	0,00
2	6COR	37,39	1,30	2,69	-1,67
3	7COR	36,92	1,03	1,38	-2,92
4	4COR	36,83	0,88	1,14	-3,15
5	13COR	36,39	0,70	-0,08	-4,32
6	3COR	36,30	0,56	-0,31	-4,54
7	8COR	36,26	0,46	-0,42	-4,64
8	9COR	36,21	0,38	-0,54	-4,76
9	5COR	36,09	0,30	-0,89	-5,10
10	2COR	36,02	0,23	-1,08	-5,28
11	10COR	35,86	0,16	-1,53	-5,71
12	11COR	35,74	0,09	-1,84	-6,01
13	12COR	35,33	0,00	-2,96	-7,08
----- Média da população: 36,41					

VG: Valores genotípicos

Botrel et al. (2007) observaram rendimento gravimétrico médio para vários clones de espécies do gênero *Eucalyptus* de 35,03%, utilizando temperatura final de carbonização de 450°C e taxa de aquecimento de 1,67°C. Observa-se que o material testemunha (1TEST), primeiro colocado, ficou bem acima do valor encontrado para *Eucalyptus*, este fato pode ser explicado por este material ser resultado de um programa de melhoramento genético para carvão vegetal, potencializando este caractere. Importante mencionar que apesar de ficarem abaixo da testemunha, os clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, apresentaram valores superiores ao encontrado por Botrel et al. (2007).

Frederico (2009), Protásio et al. (2014) e Soares (2011) encontraram valores de RGCV, entre 28,36% a 33,00%, inferiores ao apresentado pelos clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, neste trabalho.

Maiores valores de rendimento gravimétrico em carvão são desejáveis, pois resulta em maior massa de carvão vegetal e, conseqüentemente, maior produtividade dos fornos. O rendimento na produção de carvão é maximizado com o uso de madeira mais densa, de maior poder calorífico e constituição química adequada resultando também em um carvão de melhor qualidade (PALUDZYSYN FILHO, 2008).

A agregação de crescimento, qualidade da madeira e qualidade do carvão vegetal, através do caráter Índice de produção de carvão (PC) interfere no ordenamento de clones em comparação com o ordenamento somente para cada caráter. Esses resultados demonstram que a seleção pelo índice de PC deve ser agregada ao processo de seleção de clones, no programa de melhoramento genético. (Tabela 05)

Tabela 5 - Ganho com seleção para o caráter índice de produção de carvão (PC) aos 69 meses, referente ao teste clonal de híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*.

Ordem	Clone	VG	Ganho em relação à população	Ganho individual em relação à população. (%)	Ganho individual em relação à média da testemunha (%)
1	8COR	1167,99	527,32	82,31	9,77
2	1TEST	1064,03	475,34	66,08	0,00
3	3COR	703,33	337,78	9,78	-33,90
4	5COR	692,44	266,28	8,08	-34,92
5	4COR	672,23	219,33	4,92	-36,82
6	7COR	609,20	177,53	-4,91	-42,75
7	6COR	577,91	143,20	-9,80	-45,69
8	9COR	539,91	112,71	-15,73	-49,26
9	11COR	538,10	88,79	-16,01	-49,43
10	2COR	528,88	68,73	-17,45	-50,30
11	12COR	460,08	46,06	-28,19	-56,76
12	10COR	441,54	25,63	-31,08	-58,50
13	13COR	333,13	0,00	-48,00	-68,69
----- Média da população: 640,67					

VG: Valores genotípicos

Observamos a superioridade do clone 8COR apresentando um ganho individual em relação a população de 82,31% e em relação a testemunha de 9,77%. A testemunha esta na segunda colocação, demonstrando que ela apresenta boas características para produção de carvão vegetal no local. Os dois primeiros colocados, 8COR e 1TEST apresentam uma diferença considerável em comparação aos demais avaliados.

O clone 8 COR apresentou superioridade em relação a testemunha para: PC (1ª. colocação); IMA (1ª. colocação) e Db (3ª. colocação). Desta forma faz-se adequado concluir que este clone apresenta um diferencial importante em relação aos demais avaliados.

A estimativa da correlação entre características é de fundamental importância em programas de melhoramento genético, principalmente se a seleção delas apresentar

dificuldades, em razão de baixa herdabilidade e, ou, tenham problemas de mensuração (CRUZ et al., 2012). Pires (2011) menciona que a correlação genética é um parâmetro muito importante em melhoramento genético, e que quando a correlação é alta, a alteração em um caráter, promove alteração significativa em outro. A Tabela 6 apresenta estas estimativas de correlação genética entre os caracteres analisados.

Tabela 06 – Correlações entre os valores genotípicos dos caracteres de crescimento, qualidade da madeira e qualidade do carvão vegetal.

	PC (IMA)	IMA	Db	RGCV
PC (IMA)		0,99	0,57	0,47
IMA			0,48	0,42
Db				0,15
RGCV				

PC Índice de produção de carvão; IMA: Incremento médio anual ( $m^3 \cdot ha^{-1} \cdot ano$ ); Db: Densidade básica da madeira ( $Kg/m^3$ ); RGCV: Rendimento gravimétrico do carvão vegetal. Observamos a escala de cores, sendo o azul mais escuro: correlação positiva e mais próxima de 1; e azul mais clara: correlação positiva mais próxima de 0.

Observamos que a correlação é positiva entre os caracteres envolvidos na construção do índice, fator preponderante de análise para construir e validar um índice. Desta forma observamos correlação moderada e positiva entre IMA e Db; moderada e positiva entre IMA e RGCV; e baixa e positiva entre Db e RGCV.

Pode-se observar ainda, na matriz de correlação, que o PC apresentou: alta e positiva com o IMA, alta e positiva com a Db, e alta e positiva com o RGCV. A mais alta correlação foi observada entre o PC e IMA, que fica clara quando observamos o ranking de seleção dos clones para ambas, que apresentam o 8 COR em primeira colocação.

Segundo Falconer (1987), características correlacionadas são de interesse, por três razões principais. Primeiramente, em conexão com as causas genéticas de correlação, por meio da ação pleiotrópica dos genes. Em segundo lugar, em conexão com as mudanças efetuadas pela seleção, é importante conhecer como o melhoramento de uma característica pode causar mudanças simultâneas em outras. Em terceiro lugar, em conexão com seleção natural: a relação entre as características métrica e o poder adaptativo.

#### 4. CONCLUSÕES

As herdabilidades para as características estudadas em nível de médias dos clones apresentaram elevadas magnitudes, conduzindo a altas acurácias na seleção de clones.

O ranking de seleção dos clones divergiu para as características em estudo.

O índice de seleção para a produção de carvão vegetal (PC) foi eficiente e potencializa a seleção do 08COR.

Cabe destacar a possibilidade de indicação para plantio comercial em pequena escala do clone 08 COR, como também sua inclusão em estratégias do programa de melhoramento.

Os resultados revelaram boas perspectivas para o uso comercial de material genético do gênero *Corymbia*, fato que pode impactar favoravelmente o setor de siderurgia à base de carvão vegetal.

As correlações genéticas entre os caracteres estudados apresentaram consonância com os resultados de outros pesquisadores. E destaca-se a correlação alta e positiva do PG com o IMA. Sendo importante mencionar que os caracteres envolvidos na construção do índice apresentaram correlações positivas entre si.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM. **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia: 1982.
- ASSIS, T. F. Melhoria genética de *Eucalyptus*: Desafios e perspectivas. **3º Encontro Brasileiro de Silvicultura**. 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- BARCELLOS, D.C.; COUTO, L.C.; MULLER, M.D.; COUTO, L. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa & Energia**, v.2, n.2, p. 141-158, 2005.
- BOTREL, M. C. G. Melhoria genética das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 3, p. 391-398, maio/jun. 2007.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 2. densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p. 101-113, 1980.
- CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 6, p. 627-635, 2013.
- CASTRO, A.F.N.M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011. 97p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- COUTO, A. M.; TRUGILHO, O. F.; NAPOLI, A.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; PROTÁSIO, T. P. Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. Piracicaba. **Scientia Florestalis**. v. 43, n. 108, p. 817-831, dez. 2015.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. Ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 514p.
- FALCONER, D. S. **Introdução a genética quantitativa**. Trad. De Martinho Almeida e Silva e José Carlos Silva. Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1987. 287p.
- FREDERICO, P. G. U. **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de**

*Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. 2009. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

HAYKIRI-ACMA, H.; YAMAN, S.; KUCUKBAYRAK, S. Comparison of the thermal reactivities of isolated lignin and holocelluloses during pyrolysis. **Fuel Processing Technology**, v. 91, p. 759-764, 2010.

MAIA, M. C. C.; RESENDE, M. D. V.; PAIVA, J. R.; CAVALCANTI, J. J. V.; BARROS, L. M. B. Seleção simultânea para produção, adaptabilidade e estabilidade genotípicas em clones de cajueiro, via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p. 43-50, 2009.

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoramento do eucalipto para a produção de energia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, jun-ago 2008. Disponível em: Acesso em: 31 maio 2009.

PAULA, J. E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, Lavras, v. 11, n.1, p. 90-100, 2005.

PEREIRA, B. C. S. **Propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* sp. em função da idade de corte**. 2011. 40 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. **Bioresources**, Raleigh, v. 8, p. 4574-4592, 2013.

PIGATO, S. M. P. C.; LOPES, C. R. Avaliação da variabilidade genética em quatro gerações de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake por meio de marcador molecular RAPD. **Scientia Florestalis**. São Paulo. n. 60. p.119-133, 2001.

PIMENTA, A. S; BARCELLOS, D.C. **Curso de atualização e carvão vegetal. Centro de Produções técnicas – CPT**, 2000.76p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PIRES, E. I.; RESENDE, M. D. V. de; SILVA, R. L. da; RESENDE Jr, M. F. R. **Genética florestal**. Viçosa, MG: Arka, 2011. 318 p.

PROTÁSIO, T. P. et al. Qualidade da madeira e do carvão vegetal oriundos de floresta plantada em Minas Gerais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 78, p. 111-123, abr./jun. 2014.

RESENDE, M. D. V. de. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo: Embrapa Florestas, 2002.975 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**.

2011. 84p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG. 2011.

ROSADO, A. M.; ROSADO, T. B.; ALVES, A. A.; LAVIOLA, B. G.; BHERING, L. L. Seleção simultânea de clones de eucalipto de acordo com produtividade, estabilidade e adaptabilidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 964-971, 2012.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008b, 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008b.

SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CASTRO, A.F.M.; CASTRO, R.V.O.; BIANCHE, J.J.; CARDOSO, M.T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. *Scientia Forestalis*, **Piracicaba**, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SOARES, V. C.. **Comportamento térmico, químico e físico da madeira e do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em diferentes idades**. 2011. 108p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; CHEMIN, M. S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e da idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 16, p. 55-59, 1988.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 cm-85: sampling and preparing wood for analysis**. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.

TOLFO, A. L. T.; PAULA, R. C.; BONINE, C. A. V.; BASSA, A.; VALLE, C. F. Parâmetros genéticos para caracteres de crescimento, de produção e tecnológicos da madeira em clones de *Eucalyptus* spp. *Scientia Forestalis*, n. 67, p. 101-110, 2005.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, 2005.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento**: Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto. 1992. 496p.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

## CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados revelaram boas perspectivas para o uso comercial de material genético do gênero *Corymbia*, prospectando a melhoria de crescimento, qualidade da madeira e carvão vegetal, fato que pode impactar favoravelmente o setor de siderurgia à base de carvão vegetal.

Dentre os clones de *Corymbias*, clone 08 COR apresentou o melhor desempenho para os caracteres de crescimento: DAP e IMA, apresentando um ganho significativo em relação à média da população. Importante destacar que é um passo significativo para dar início a seleção de clones deste gênero, na região da pesquisa.

Para qualidade da madeira e carvão, foram destaques dois clones híbridos de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, 8COR e 4COR. Estes materiais apresentaram um relevante ganho em densidade básica da madeira e densidade aparente do carvão.

As correlações genéticas entre os caracteres estudados apresentaram consonância com os resultados de outros pesquisadores. Como principal resultado observou-se que a densidade básica da madeira e a Densidade aparente do carvão estão correlacionadas com caracteres anatômicos e químicos, sendo as magnitudes de médias a baixas, alterando o sentido de positivo e negativo.

O índice de seleção para a produção de carvão vegetal (PC) foi eficiente e potencializou a seleção do 08COR, que apresentou considerável diferença em relação aos demais *Corymbia* avaliados.

A construção de um índice de seleção é uma excelente ferramenta para auxiliar o melhorista na tomada de decisão.

Na junção das análises realizadas é importante mencionar a superioridade do clone 8COR, híbrido de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora*, que foi selecionado em todas as fases desta pesquisa e podendo ser implantado em uma escala menor na região do Vale do Rio Doce (Dionísio), para a produção de carvão vegetal. Deve-se avaliar a possibilidade de sua inclusão em estratégias do programa de melhoramento.